

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-252548

(43)Date of publication of application : 14.09.2000

(51)Int.Cl.

H01L 43/08  
G11B 5/39

(21)Application number : 11-374033

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 28.12.1999

(72)Inventor : KAMIGUCHI YUZO  
YUASA HIROMI  
SAHASHI MASASHI  
IWASAKI HITOSHI

(30)Priority

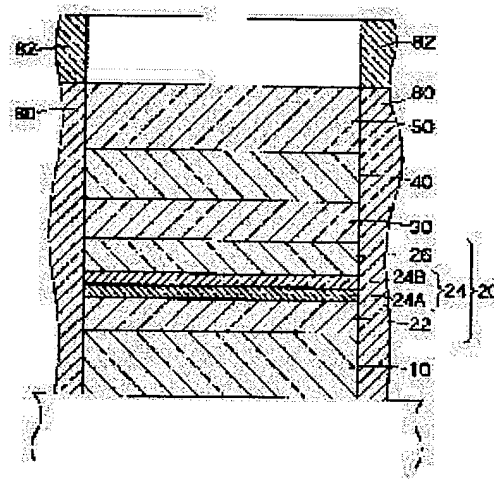
Priority number : 10377385    Priority date : 28.12.1998    Priority country : JP

## (54) MAGNETORESISTIVE EFFECT ELEMENT AND MAGNETIC RECORDER

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To secure magnetic coupling of ferromagnetic metallic layers and to obtain an excellent magnetized stuck surface, causing mirror reflection of electrons to occur, by providing a nonmetallic layer as an electron reflecting layer in the middle of the magnetized stuck layer, and laminating two kinds of layers as a backing for the nonmetallic layer.

**SOLUTION:** By forming a nonmetallic layer 50 on a second magnetic layer 40 first of all, mirror reflection of electrons is caused to occur between these layers. As the result of this, it becomes possible to reduce the loss of momentum of the electrons. In addition, it becomes possible to cause mirror reflection of electrons to occur even at the interface between a second ferromagnetic metallic layer 26 and a nonmetallic layer 24, by forming the nonmetallic layer 24 in the middle of a first magnetized layer 20. Accordingly, it is possible to cause electron reflection to occur even at an interface of a magnetic layer above or below a current path, in spite of using a metallic antiferromagnetic substance. Consequently, it becomes possible to minimize the loss of momentum of electrons, and to obtain an excellent bias magnetic field property, using the antiferromagnetic substance.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 20.09.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## CLAIMS

### [Claim(s)]

[Claim 1] A magneto-resistive effect element equipped with a spin bulb film which has the nonmagnetic middle class prepared between the 1st magnetic layer characterized by providing the following, the 2nd magnetic layer, and said 1st magnetic layer and said 2nd magnetic layer Even if there are few said 1st magnetic layer and said 2nd magnetic layer, either is the 1st ferromagnetic metal layer. The 1st nonmetal layer prepared on said 1st ferromagnetic metal layer The 2nd nonmetal layer which has a presentation which is established on said 1st nonmetal layer and is different from said 1st nonmetal layer The 2nd ferromagnetic metal layer prepared on said 2nd nonmetal layer

[Claim 2] A magneto-resistive effect element equipped with a spin bulb film which has the nonmagnetic middle class prepared between the 1st magnetic layer characterized by providing the following, the 2nd magnetic layer, and said 1st magnetic layer and said 2nd magnetic layer Even if there are few said 1st magnetic layer and said 2nd magnetic layer, either is the 1st ferromagnetic metal layer. The 2nd ferromagnetic metal layer which has a presentation which is established on said 1st ferromagnetic metal layer, and is different from said 1st ferromagnetic metal layer A nonmetal layer prepared on said 2nd ferromagnetic metal layer The 3rd ferromagnetic metal layer prepared on said nonmetal layer

[Claim 3] A magneto-resistive effect element equipped with a spin bulb film which has the nonmagnetic middle class prepared between the 1st magnetic layer characterized by providing the following, the 2nd magnetic layer, and said 1st magnetic layer and said 2nd magnetic layer Even if there are few said 1st magnetic layer and said 2nd magnetic layer, either is the 1st ferromagnetic metal layer. The 1st nonmetal layer prepared on said 1st ferromagnetic metal layer The 2nd ferromagnetic metal layer prepared on said 1st nonmetal layer The 3rd ferromagnetic metal layer prepared on the 2nd nonmetal layer prepared on said 2nd ferromagnetic metal layer, and said 2nd nonmetal layer

[Claim 4] The 1st magnetic layer The 2nd magnetic layer A nonmagnetic interlayer prepared between said 1st magnetic layer and said 2nd magnetic layer It is the magneto-resistive effect element equipped with the above. Said 1st magnetic layer and said 2nd magnetic layer at least either A lithium (Li), beryllium (Be), sodium (Na), magnesium (Mg), Aluminum (aluminum), silicon (Si), \*\*\*\* (P), a potassium (K), Calcium (calcium), a scandium (Sc), a gallium (Ga), a rubidium (Rb), The 1st [ which was chosen from a group which consists of an element belonging to strontium (Sr), an yttrium (Y), caesium (Cs), barium (Ba), and lanthanum series ] ferromagnetic metal layer which contained one of elements 1% or more at least, It is characterized by having a nonmetal layer formed on said ferromagnetic metal layer, and the 2nd ferromagnetic metal layer formed on said nonmetal layer.

[Claim 5] Said 1st ferromagnetic metal layer is a magneto-resistive effect element according to claim 4 characterized by thing which was chosen from a group which consists of an element belonging to aluminum (aluminum), silicon (Si), and lanthanum series, and which contained one of elements 1% or more at least.

[Claim 6] Spin characterized by providing the following The 1st magnetic layer It is the magneto-resistive effect element equipped with a nonmagnetic middle class bulb film prepared between the 2nd magnetic layer, and said 1st magnetic layer and said 2nd magnetic layer. Said 1st magnetic layer and said 2nd magnetic layer at least either It has the 1st ferromagnetic metal layer, a nonmetal layer prepared on said 1st ferromagnetic metal layer, and the 2nd ferromagnetic metal layer prepared on said nonmetal layer. Said nonmetal layer When it was the antiferromagnetic substance, and T and its magnetic period are set to P and an integer is set to n for the thickness, it is formula  $Px(n+0.3) \leq T \leq Px(n+0.7)$ .

A magneto-resistive effect element characterized by carrying out \*\* satisfactory.

[Claim 7] Spin characterized by providing the following The 1st magnetic layer It is the magneto-resistive effect element equipped with a nonmagnetic middle class bulb film prepared between the 2nd magnetic layer, and said 1st magnetic layer and said 2nd magnetic layer. Said 1st magnetic layer and said 2nd magnetic layer at least either It has the 1st ferromagnetic metal layer, a nonmetal layer prepared on said 1st ferromagnetic metal layer, and the 2nd

ferromagnetic metal layer prepared on said nonmetal layer. Said nonmetal layer When it was the antiferromagnetic substance, and T and its magnetic period are set to P and an integer is set to n for the thickness, it is formula  $P \times (n - 0.2) \leq T \leq P \times (n + 0.2)$ .

A magneto-resistive effect element characterized by carrying out \*\* satisfactory.

[Claim 8] It is the magnetic recording medium characterized by being the magnetic recording medium equipped with the magnetic head which reproduces information to magnetic-recording data medium, and said magnetic head having a magneto-resistive effect element according to claim 1 to 7.

---

[Translation done.]

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] This invention relates to the magnetic recording medium which carried the magneto-resistive effect element for which this invention used the spin bulb film at details, and this magneto-resistive effect element in the magnetic head more about a magneto-resistive effect element and a magnetic recording medium.

[0002]

[Description of the Prior Art] Generally, read-out of the information recorded on magnetic-recording data medium moved relatively the magnetic head for playback which has a coil to the record medium, and has been performed by the method of detecting the voltage by which induction is carried out to a coil by the electromagnetic induction then generated. On the other hand, when reading information, using a magneto-resistive effect element (it being hereafter called the "MR" element) is also known. (Reference, such as IEEE MAG-7,150 (1971)) . The magnetic head (it is hereafter called an "MR head") using MR element uses the phenomenon in which the electric resistance of a certain kind of ferromagnetic changes according to the strength of an external magnetic field.

[0003] In recent years, miniaturization and large capacity-ization of magnetic-recording data medium are advanced, the playback MAG signal at the time of information read-out is becoming very feeble, and expectation of MR head HE which can take out the more big output to high sensitivity is growing. Especially, the big magneto-resistive effect is acquired by the cascade screen of the sandwich structure of a ferromagnetic / non-magnetic material / ferromagnetic. That is, exchange bias is exerted on one side of two ferromagnetic layers whose non-magnetic layers were pinched, magnetization is fixed to it, and flux reversal of the ferromagnetic of another side is carried out by external magnetic fields (signal magnetic field etc.). A big magneto-resistive effect is acquired by changing by this the relative angle of the magnetization direction of two ferromagnetic layers arranged on both sides of a non-magnetic layer. The such type multilayer is called the spin bulb film (reference, such as Phys.Rev.B., Vo 1.45, p806 (1992), J.Appl.Phys., Vol.69, and p4774 (1991)).

[0004] Since the magnetic-reluctance rate of change of a spin bulb film can change magnetization a lot with 5 - 8% in a low magnetic field, it is suitable for MR element. However, in order to correspond to the further densification of recording density, it is necessary to acquire still bigger MR rate of change, and to acquire current MR rate of change of twice to 3 times or more is desired. However, it is difficult to acquire 10% or more of MR rate of change by the simple metal laminating type spin bulb film. it -- receiving -- as a recently and bias film -- NiO and Fe 2O3 etc. -- the "specular spin bulb film" which carried out the laminating of the oxide layer is already attracting attention also to the front face of one of the two's magnetic substance using the insulating antiferromagnetic substance which consists of an oxide. By putting further the sandwiches film of the magnetic substance / non-magnetic material / magnetic substance with an insulating material, specular reflection of the electron is carried out by the metal / insulating material interface, and it is known for the specular spin bulb film that about 20% of big magneto-resistive effect will be acquired. By the specular spin bulb film, although it is necessary to insert the both sides of the magnetic substance / non-magnetic material / magnetic-substance sandwiches film by the oxide layer, it is necessary to carry out the laminating of the bias film for fixing magnetization in contact with magnetic substance of at least one of the two simultaneously. therefore -- current -- NiO and Fe 2O3 etc. -- although the oxide antiferromagnetic substance is used, the oxide antiferromagnetic substance with a bias property good now enough is not known, but has become the neck of utilization. That is, since there is no insulating antiferromagnetic substance with an exchange bias magnetic field big enough and a blocking temperature high enough, it is difficult to use a specular spin bulb film as a charge of real lumber.

[0005] On the other hand, the method of acquiring the specular effect is proposed by inserting an ultra-thin oxide into a

magnetic layer recently, using the metal antiferromagnetic substance. If this method is used, it will become possible to acquire the big MR effect, using the metal antiferromagnetic substance with a big exchange bias magnetic field and a blocking temperature high enough. However, it is important to create an ultra-thin oxide layer with a sufficient precision in this case, and it needs to create a good oxide layer with sufficient repeatability.

[0006]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] This invention is made in view of such a technical problem. That is, the object is to offer the magnetic head and the magnetic recording medium possessing the magneto-resistive effect element which has improved soft magnetic characteristics while making it compatible with the bias property of a good magnetization fixing film after maintaining big MR rate of change of a specular spin bulb film.

[0007]

[Means for Solving the Problem] In order to attain the above-mentioned object, a magneto-resistive effect element of this invention With a nonmagnetic interlayer prepared between the 1st magnetic layer, the 2nd magnetic layer, and said 1st magnetic layer and said 2nd magnetic layer It is the magneto-resistive effect element equipped with a spin bulb film which \*\*\*\*. Said 1st magnetic layer and said 2nd magnetic layer at least either The 1st ferromagnetic metal layer and the 1st nonmetal layer prepared on said 1st ferromagnetic metal layer, The 2nd nonmetal layer which has a presentation which is established on said 1st nonmetal layer and is different from said 1st nonmetal layer, A nonmetal layer to which it is characterized by having the 2nd ferromagnetic metal layer prepared on said 2nd nonmetal layer, and specular reflection of the electron is carried out is formed with very thinly and sufficient repeatability, and the thing of it can be carried out.

[0008] A magneto-resistive effect element of this invention Or the 1st magnetic layer and the 2nd magnetic layer, With a nonmagnetic interlayer prepared between said 1st magnetic layer and said 2nd magnetic layer It is the magneto-resistive effect element equipped with a spin bulb film which \*\*\*\*. Said 1st magnetic layer and said 2nd magnetic layer at least either The 2nd ferromagnetic metal layer which has a presentation which is established on the 1st ferromagnetic metal layer and said 1st ferromagnetic metal layer, and is different from said 1st ferromagnetic metal layer, A nonmetal layer to which it is characterized by having a nonmetal layer prepared on said 2nd ferromagnetic metal layer and the 3rd ferromagnetic metal layer prepared on said nonmetal layer, and specular reflection of the electron is carried out is formed with very thinly and sufficient repeatability, and the thing of it can be carried out.

[0009] A magneto-resistive effect element of this invention Or the 1st magnetic layer and the 2nd magnetic layer, With a nonmagnetic interlayer prepared between said 1st magnetic layer and said 2nd magnetic layer It is the magneto-resistive effect element equipped with a spin bulb film which \*\*\*\*. Said 1st magnetic layer and said 2nd magnetic layer at least either The 1st ferromagnetic metal layer and the 1st nonmetal layer prepared on said 1st ferromagnetic metal layer, The 2nd ferromagnetic metal layer prepared on said 1st nonmetal layer, and the 2nd nonmetal layer prepared on said 2nd ferromagnetic metal layer, It can be characterized by having the 3rd ferromagnetic metal layer prepared on said 2nd nonmetal layer, and electronic specular reflection can be produced very effectively.

[0010] A magneto-resistive effect element of this invention Or the 1st magnetic layer and the 2nd magnetic layer, With a nonmagnetic interlayer prepared between said 1st magnetic layer and said 2nd magnetic layer It is the magneto-resistive effect element equipped with a spin bulb film which \*\*\*\*. Said 1st magnetic layer and said 2nd magnetic layer at least either A lithium (Li), beryllium (Be), sodium (Na), magnesium (Mg), Aluminum (aluminum), silicon (Si), \*\*\*\* (P), a potassium (K), Calcium (calcium), a scandium (Sc), a gallium (Ga), a rubidium (Rb), The 1st [ which was chosen from a group which consists of an element belonging to strontium (Sr), an yttrium (Y), caesium (Cs), barium (Ba), and lanthanum series ] ferromagnetic metal layer which contained one of elements 1% or more at least, A nonmetal layer to which it is characterized by having a nonmetal layer prepared on said ferromagnetic metal layer and the 2nd ferromagnetic metal layer prepared on said nonmetal layer, and specular reflection of the electron is carried out is formed with very thinly and sufficient repeatability, and the thing of it can be carried out.

[0011] Said especially 1st ferromagnetic metal layer has a desirable thing which was chosen from a group which consists of an element belonging to aluminum (aluminum), silicon (Si), and lanthanum series and which contain one of elements 1% or more at least.

[0012] Or the 5th magneto-resistive effect element of this invention With a nonmagnetic interlayer prepared between the 1st magnetic layer, the 2nd magnetic layer, and said 1st magnetic layer and said 2nd magnetic layer It is the magneto-resistive effect element equipped with a spin bulb film which \*\*\*\*. Said 1st magnetic layer and said 2nd magnetic layer at least either It has the 1st ferromagnetic metal layer, a nonmetal layer prepared on said 1st ferromagnetic metal layer, and the 2nd ferromagnetic metal layer prepared on said nonmetal layer. Said nonmetal layer It is the antiferromagnetic substance, and can be characterized by satisfying formula  $Px(n+0.3) \leq T \leq Px(n+0.7)$  in the thickness, when T and its magnetic period are set to P and an integer is set to n, the synthetic antiferromagnetic

substance can be formed, and it can high-performance-ize further.

[0013] It defines by distance from a center position of a metal atomic layer which is in contact with a ferromagnetic metal layer side of an oxygen atomic layer nearest to an interface here when thickness of said nonmetal layer has a laminated structure called nickel atomic layer / oxygen atomic layer / nickel atomic layer / oxygen atomic layer / nickel atomic layer like an orientation (111) film of NiO to a center position. Moreover, also in a nonmetal layer with the more complicated crystal structure, it defines by distance from a center position of a metal atomic layer which is in contact with a metal layer side of an oxygen atomic layer nearest to an interface to a center position.

[0014] Or the 6th magneto-resistive effect element of this invention With a nonmagnetic interlayer prepared between the 1st magnetic layer, the 2nd magnetic layer, and said 1st magnetic layer and said 2nd magnetic layer It is the magneto-resistive effect element equipped with a spin bulb film which \*\*\*\*. Said 1st magnetic layer and said 2nd magnetic layer at least either It has the 1st ferromagnetic metal layer, a nonmetal layer prepared on said 1st ferromagnetic metal layer, and the 2nd ferromagnetic metal layer prepared on said nonmetal layer. Said nonmetal layer When it was the antiferromagnetic substance, and T and its magnetic period are set to P and an integer is set to n for the thickness, it is formula  $Px(n-0.2) \leq T \leq Px(n+0.2)$ .

It can be characterized by carrying out \*\* satisfactory, and stable ferromagnetic-like association can be obtained.

[0015] On the other hand, a magnetic recording medium of this invention is a magnetic recording medium equipped with the magnetic head which records or reproduces information to magnetic-recording data medium, and said magnetic head can be characterized by having one of magneto-resistive effect elements mentioned above, and can realize a big regenerative-signal output and good thermal stability.

[0016]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the gestalt of operation of this invention is explained, referring to a drawing. Drawing 1 is a conceptual diagram showing the cross-section structure of the magneto-resistive effect element concerning the gestalt of operation of the 1st of this invention. That is, the magneto-resistive effect element of this invention has the structure where the laminating of the antiferromagnetism layer 10, the 1st magnetic layer 20, the nonmagnetic interlayer 30, the 2nd magnetic layer 40, and the nonmetal layer 50 was carried out to this order, on a predetermined substrate.

[0017] Furthermore, the hard magnetism films 80 and 80 are formed in the both sides of this laminated structure, and electrodes 82 and 82 are formed on each hard magnetism film.

[0018] in this example, magnetization fixes the 1st magnetic layer 20 -- having -- an one direction -- different -- it acts as a "magnetization fixing layer" which withered according to modality. Moreover, the 2nd magnetic layer 40 acts as "magnetic field reception layer" by which flux reversal is carried out in the external magnetic fields (for example, signal magnetic field etc.) generated from magnetic-recording data medium which is not illustrated, or a "free layer."

[0019] The 1st magnetic layer 20 which is a "magnetization fixing layer" has the structure which carried out the laminating of the ferromagnetic metal layer 22, the nonmetal layer 24, and the ferromagnetic layer metal layer 26 to this order. Furthermore, in this operation gestalt, it has the structure to which the nonmetal layer 24 carried out the laminating of 1st nonmetal layer 24A and the 2nd nonmetal layer 24B.

[0020] In the magneto-resistive effect element of this invention, the magnetic field intensity impressed to the 2nd magnetic layer 40 is detectable by impressing bias voltage to a longitudinal direction toward drawing 1 through electrodes 82 and 82, and measuring change of magnetic reluctance. The current produced with bias voltage at this time mainly flows to field inboard in the 2nd ferromagnetic metal layer 26, the nonmagnetic interlayer 30, and the 2nd magnetic layer 40.

[0021] Here, in order to acquire a magneto-resistive effect more notably, it is necessary to reduce loss of the momentum of the electron which flows to field inboard with impression of bias voltage. According to this invention, electronic specular reflection can be first produced among these layers by forming the nonmetal layer 50 on the 2nd magnetic layer 40. Loss of an electronic momentum can be reduced as this result.

[0022] Furthermore, according to this invention, also in the interface of the 2nd ferromagnetic metal layer 26 and the nonmetal layer 24, electronic specular reflection can be produced by forming the nonmetal layer 24 in the medium of the 1st magnetic layer 20. that is, when the metallic antiferromagnetic substance, such as NiMn, PtMn, and IrMn, is used as a material of the antiferromagnetism layer 10 According to this invention, to it being difficult to produce electronic specular reflection between the antiferromagnetism layer 10 and the 1st magnetic layer 20, and loss of an electronic momentum arising while using the metallic antiferromagnetic substance -- the upper and lower sides of a current path -- an electronic echo can be caused also in the interface of which magnetic layer.

[0023] A good bias magnetic field property is realizable, making loss of an electronic momentum minimum-ize and using the antiferromagnetic substance as the result. Furthermore, it becomes possible to acquire 15% or more of big

value as MR rate of change, maintaining a high blocking temperature of 250 degrees C or more.

[0024] Here, if the thickness of the nonmetal layer 24 prepared in the medium of the 1st magnetic layer 20 is too thick, it will block magnetic coupling with the ferromagnetic metal layers 22 and 26 of the upper and lower sides, and it produces the problem that a good magnetization fixing property cannot be acquired. On the other hand, if the thickness of the nonmetal layer 24 is too thin, formation of a uniform and continuous thin film can become difficult, and electronic specular reflection cannot fully be produced. That is, the need of forming a very thin and uniform thin film with sufficient repeatability as a nonmetal layer 24 arises.

[0025] Generally, when forming an ultra-thin nonmetal layer, forming is more desirable than form the metal layer of the substrate for forming a nonmetal layer first, put the front face to ambient atmospheres, such as a gas containing oxygen (O), nitrogen (N), or a fluorine (F), or its plasma, and making it react. However, if a reaction progresses too much in this case, since the thickness of a nonmetal layer will become thick too much, magnetic coupling will go out in a nonmetal layer, and it will become difficult to acquire a good magnetization fixing property. For this reason, progress of a reaction needed to be controlled with sufficient repeatability, but with the conventional configuration, precise control of a reaction was not easy.

[0026] On the other hand, according to this operation gestalt, it becomes possible by making the nonmetal layer 24 into the laminated structure of 1st nonmetal layer 24A [ 1st ] and 2nd nonmetal layer 24B to form the thickness of the whole nonmetal layer 24 with sufficient repeatability thinly. That is, with this operation gestalt, the laminating configuration of two or more sorts of materials is used as a material for forming the nonmetal layer 24. As a material of 1st nonmetal layer 24A, a material with more strong resistance is used to reactions, such as oxidation and nitriding. Moreover, as a material of 2nd nonmetal layer 24B, the material which can cause a good electronic echo is used after a reaction.

[0027] Drawing 2 is a process cross section which expresses the formation method of the nonmetal layer 24 notionally. First, as expressed to drawing 2 (a), the laminated structure of the substrate layer 22 and a thin film X is prepared. Here, as for the substrate layer 22, it is desirable to serve as a part of 1st ferromagnetic metal layer, and to consist of a material with large resistance to oxidation, nitriding, or fluoride. As the material, it is desirable to contain nickel (nickel), for example, it can use nickel and an iron (NiFe) alloy.

[0028] Moreover, a thin film X consists of a material which can cause a good electronic echo by oxidation, nitriding, or fluoride. As the material, to cobalt iron (CoFe), for example A lithium (Li), Beryllium (Be), sodium (Na), magnesium (Mg), Aluminum (aluminum), silicon (Si), \*\*\*\* (P), a potassium (K), Calcium (calcium), a scandium (Sc), a gallium (Ga), a rubidium (Rb), The thing of the element belonging to strontium (Sr), an yttrium (Y), caesium (Cs), barium (Ba), and lanthanum series which added one of elements at least can be used.

[0029] Moreover, deposition of a thin film X can be performed by methods, such as sputtering, vacuum deposition, and CVD. In this case, it is comparatively easy to deposit a thin film X thinly enough.

[0030] Next, as expressed to drawing 2 (b), 1st nonmetal layer 24A and 2nd nonmetal layer 24B are formed. The front face of a thin film X and a substrate 22 is made to react by specifically putting to the ambient atmosphere containing oxygen (O), nitrogen (N), or a fluorine (F). In this case, since a thin film X has comparatively high reactivity, the whole reacts, and 2nd nonmetal layer 24B is formed. However, since the substrate layer 22 under it contains a material with the large resistance of a reaction, progress of a reaction is prevented and ultra-thin nonmetal layer 24A is formed. That is, the thickness of the whole nonmetal layer 24 is substantially determined by the thickness of a thin film X. For this reason, the ultra-thin and uniform nonmetal layer 24 can be formed with sufficient repeatability.

[0031] According to this invention, a substrate can act as a stopper layer to a reaction, and can form an ultra-thin and uniform nonmetal layer with sufficient repeatability. As the result, producing electronic specular reflection, magnetic coupling of the 1st ferromagnetic metal layer 22 and the 2nd ferromagnetic metal layer 26 can be secured, and a good magnetization fixing property can be acquired.

[0032] Moreover, in drawing 1 thru/or drawing 2 , although the case where the nonmetal layer 24 consisted of two kinds of nonmetal layers was illustrated, this invention is not limited to this. That is, the laminated structure which consists of three kinds or a nonmetal layer beyond it may be adopted as structure of the nonmetal layer 24. Also in this case, the same effect can be acquired by preparing the layer which secures electronic specular reflection to an upside, and preparing the layer which has the role which prevents too much reaction to the down side.

[0033] Below, the configuration of each class which constitutes the magneto-resistive effect element concerning this operation gestalt is explained further at details.

[0034] First, an oxide, a nitride, or a fluoride can be used as a material of the nonmetal layer 24. When using a non-magnetic material (material which carries out neither the ferromagnetic magnetization array of spin, nor an antiferromagnetism array at a room temperature), as for the total thickness of the nonmetal layer 24, it is [ among these ] desirable to be referred to as 3nm or less. This is because the magnetic bonding strength between the ferromagnetic



metal layers 22 and 26 of the both sides whose nonmetal layers 24 were pinched will become small if the thickness of the nonmetal layer 24 becomes thicker than this, and fixing of magnetization of the ferromagnetic metal layer 26 which touched the nonmagnetic interlayer 30 becomes difficult. Moreover, in order to acquire better magnetization fixing, it is more desirable to set sum total thickness of the nonmetal layer 24 to 2nm or less.

[0035] When using the antiferromagnetic substance or a ferromagnetic as a material of the nonmetal layer 24, the up-and-down magnetic layers 22 and 26 can be magnetically fixed through the nonmetal layer 24. Therefore, if the thickness of the sum total of the nonmetal layer 24 is 5nm or less, it is possible to fix magnetization of the ferromagnetic metal layer 26 which fully touched the nonmagnetic interlayer 30. However, in order to obtain firmer magnetic-like association, as for the thickness of the sum total of the nonmetal layer 24, it is desirable that it is 3nm or less.

[0036] Bigger MR rate of change than using a ferromagnetic especially and association between layers can be obtained.

[0037] Moreover, when the material of the nonmetal layer 24 is the antiferromagnetic substance, considering environmental temperature of operation, it is desirable for Neel temperature to be 250 degrees C or more, and it is more desirable that it is 300 degrees C or more. When this has low Neel temperature, it is for the up-and-down ferromagnetic layer 22 and the thermal stability of association of 26 to deteriorate.

[0038] However, in order to pinch the nonmetal layer 24 of this invention odor to which specular reflection of the electron is carried out with ferromagnetics 22 and 26 from both sides, Neel temperature rises rather than a bulk value by the molecule magnetic field from a ferromagnetic. For this reason, as for the both sides of the nonmetal layer 24 used as an electronic reflecting layer, it is desirable to sandwich with high Fe (iron) system or Co (cobalt) system alloy of a curie point. A Neel point high enough is securable by adjusting a presentation suitably also in a material like NiO (nickel oxide) by this method.

[0039] When the material of the nonmetal layer 24 is a ferromagnetic and environmental temperature of operation is considered on the other hand, it is desirable for curie temperature to be 100 degrees C or more, and it is still more desirable that it is 200 degrees C or more. In order to pinch the nonmetal layer 24 which turns into an electronic reflecting layer also in this case in the ferromagnetic layers 22 and 26 from both sides, the Curie point goes up rather than a bulk value by the molecule magnetic field from a ferromagnetic. For this reason, as for the both sides of the nonmetal layer 24, it is desirable to sandwich with high Fe system or Co system alloy of a curie point. A curie point high enough is securable by adjusting a presentation suitably also in a material like for example, a perovskite system by this method. Moreover, also in a material like a ferrite system, still more sufficient curie point is securable.

[0040] On the other hand, the gestalt of magnetic association of the up-and-down ferromagnetic metal layers 22 and 26 may be combined so that magnetization may be parallel, and magnetization may combine with anti-parallel. Moreover, magnetization could make the angle which are 90 abbreviation and may join together. Or it is satisfactory even if it is making the other angle. As for the strength of association, it is desirable to become angle change of less than 10 degrees in the external magnetic field of 400Oe.

[0041] In order to carry out association of a vertical magnetic layer to parallel, it is desirable to use a ferromagnetic or the ferrimagnetic substance as a material of the nonmetal layer 24. However, the antiferromagnetic substance can also be used. In that case, it is desirable to use an insulating material which magnetization of each atomic layer arranges to anti-parallel to an atomic stack (laminating) like NiO. In that case, it is desirable to set up the thickness of the nonmetal layer 24 so that the number of magnetic atomic layers may become close to even number.

[0042] That is, as a material of the nonmetal layer 24, it is a ferromagnetic and it is desirable to use that with which it is satisfied of formula  $Px(n-0.2) \leq T \leq Px(n+0.2)$  in the thickness when T and its time period are set to P and an integer is set to n. Here, a time period is a period of the magnetization spin produced in the direction of thickness of a nonmetal layer, for example, also when one magnetic period changes in the shape of a spiral over a number atomic layer, it contains.

[0043] Specifically, the insulating material which magnetization of each atomic layer has arranged to anti-parallel to an atomic stack can be used like NiO (nickel oxide). The orientation (111) film of NiO has a laminated structure called nickel atomic layer / oxygen atomic layer / nickel atomic layer / oxygen atomic layer / nickel atomic layer. The time periods in this case are an oxygen atomic layer / nickel atomic layer / oxygen atomic layer / nickel atomic layer. Therefore, it is desirable to set up the thickness of the nonmetal layer 24 so that the number of the oxygen atomic layers seen in the direction of thickness of a nonmetal layer may become close to even number. However, if magnetic association as total is parallel, since it is good, the number does not necessarily need to be even exactly.

[0044] Here, the distance from the center position of the metal atomic layer which is in contact with the ferromagnetic metal layer side of the oxygen atomic layer nearest to an interface to a center position defines the thickness of said nonmetal layer. Moreover, also in a nonmetal layer with the more complicated crystal structure, it defines by distance from the main position of the metal atomic layer which is in contact with the metal layer side of the oxygen atomic layer



nearest to an interface to a center position. Moreover, in the case of the oxide which has the more complicated crystal structure, the above-mentioned definition is applicable similarly.

[0045] In order to carry out association of the up-and-down ferromagnetic metal layers 22 and 26 to anti-parallel, as a material of the nonmetal layer 24, it is the antiferromagnetic substance and it is desirable to use that with which it is satisfied of formula  $Px(n+0.3) \leq T \leq Px(n+0.7)$  in the thickness when  $T$  and its magnetic period are set to  $P$  and an integer is set to  $n$ . Here, a "magnetic period" is a period of the magnetization spin produced in the direction of thickness of a nonmetal layer, for example, also when one magnetic period changes in the shape of a spiral over a number atomic layer, it contains.

[0046] Specifically, the insulating material which magnetization of each atomic layer has arranged to anti-parallel to an atomic stack can be used like NiO (nickel oxide). The "magnetic periods" in this case is an oxygen atomic layer / nickel atomic layer / oxygen atomic layer / nickel atomic layer. Therefore, it is desirable to set up the thickness of the nonmetal layer 24 so that the number of the atomic layers seen in the direction of thickness of a nonmetal layer may become close to odd number. however, the magnetic connection as total -- anti-parallel -- it is -- \*\*\*\*ing -- a sake -- since -- also \*\*\*\* (ing) -- the number does not need to be odd exactly.

[0047] Moreover, also when using the ferrimagnetic substance, it is desirable to choose thickness so that a field where the magnetic site of the spin site of an one direction of the electronic reflecting layer in an interface with the nonmetal layer 24 used as a ferromagnetic and an electronic reflecting layer increases may be chosen and the direction may serve as anti-parallel by the upside interface and bottom interface.

[0048] Moreover, although the nonmetal layer 24 may be in an amorphous (amorphous) condition, it is desirable that it is in a microcrystal condition or a polycrystal condition, and it is still more desirable to have a magnetic layer and an epitaxial relation. In order to strengthen association of the vertical magnetic layers 22 and 26 and to increase an electronic reflection coefficient especially, it is desirable to have an epitaxial relation.

[0049] Moreover, although the nonmetal layer 24 may be in the condition of a completely continuous thin film, the pinhole may open. If the pinhole is open, since the vertical magnetic layers 22 and 26 will be enabled to join together magnetically through the hole, strong magnetic connection can be obtained. However, since an electronic reflection effect will become small if there is not much much existence of a pinhole, the rate of a pinhole is made into area and it is desirable that it is 50% or less of the whole. In order to raise an electronic reflection effect furthermore, as for the rate of a pinhole, it is desirable that it is 20% or less, and it is still more desirable that it is 10% or less.

[0050] Moreover, although there may be 2nm or more of irregularity of an average of the interface, i.e., the interface of 2nd nonmetal layer 24B and the ferromagnetic metal layer 26, which carries out specular reflection of the electron, it is more desirable that it is 2nm or less. Since an electronic reflection coefficient deteriorates that the irregularity of an interface is 2nm or more, MR rate of change will decrease. Since the smooth nature of a spin bulb film goes up and the irregularity of a front face or an interface decreases when the antiferromagnetism layer 10 is formed in the bottom as illustrated to drawing 1, a bigger electronic reflection effect can be acquired. In this case, in order to decrease the irregularity of an interface further, as a substrate of the antiferromagnetism layer 10, a tantalum (Ta), titanium (Ti), chromium (Cr), aluminum (aluminum), etc. can be used.

[0051] Moreover, the substrate layer which raises wettability with a substrate was prepared, the laminating of the material which raises a crystal stacking tendency like copper (Cu), gold (Au), and silver (Ag) on it was turned further up, and the antiferromagnetism layer 10 may be deposited. As for the difference of the lattice constant of a substrate and the metal layer by which a laminating is carried out on it, at this time, considering as less than 5% is desirable. By this, it becomes possible to raise whole smooth nature and a whole stacking tendency, an electronic reflection coefficient rises, and the bigger MR effect can be acquired.

[0052] It is better to carry out the maximum dense plane orientation more desirably, although orientation of the nonmetal layer 24 as an electronic reflecting layer does not necessarily have to be carried out. By carrying out orientation of the electronic reflecting layer to the maximum \*\*\*\*, it becomes possible to obtain a bigger electronic reflection factor. Moreover, it is also possible for the membraneous quality of the ferromagnetic metal layer 26 which carries out a laminating on it to improve, and to raise soft magnetic characteristics with the structure which formed an antiferromagnetism layer 10 like drawing 1 at the bottom.

[0053] As a material of the ferromagnetic metal layers 22 and 26 or the 2nd magnetic layer 40, although the magnetic substance, such as nickel (nickel), cobalt (Co), and iron (Fe), can be used, 2 yuan system magnetism alloys, such as NiFe and CoFe, are sufficient. In order to obtain big MR rate of change and good soft magnetic characteristics especially, it is desirable to use the magnetic alloy containing cobalt (Co). By using a cobalt system alloy, it becomes possible to acquire big spin dependence dispersion and a good electronic reflection effect, and the big MR effect can be acquired. Moreover, the magnetic-substance alloy of 3 yuan or more may be used similarly.

[0054] Moreover, it does not necessarily need to be the same, one side is NiFe, and another side may change the material of the ferromagnetic metal layers 22 and 26 like CoFe. In this case, since the one where resistance of the ferromagnetic metal layer 22 which is not in contact with the nonmagnetic interlayer 30 is higher can reduce the effect of a shunt, in the ferromagnetic metal layer 22, it is desirable to add high resistance-ized additives, such as chromium (Cr), a tantalum (Ta), titanium (Ti), vanadium (V), a tungsten (W), a rhodium (Rh), and a ruthenium (Ru).

[0055] The 1st ferromagnetic metal layer 22 can be made into two-layer structure, and it can be made to act in the structure especially illustrated to drawing 1 as the layer which acts substantially considering the layer of the bottom as a magnetic fixing layer, and a layer which prevents a reaction for an upper layer. What has the large bulk effect as a material of the layer of the bottom in this case which affects MR variation is desirable. A cobalt (Co) system magnetism alloy can be mentioned, and, as for the thickness, specifically, forming thickly relatively is desirable. As mentioned above as a material of the layer of the upside in this case on the other hand, it can consider as the magnetic alloy of a nickel system, and, as for that thickness, forming thinly is desirable in the range which can prevent a reaction.

[0056] Furthermore, these magnetic layers 22, 26, and 40 may have a laminated structure of the magnetic substance and non-magnetic material more than two-layer, respectively. For example, you may consider as two-layer structure like CoFe/Cu. Or you may consider as a three-tiered structure like CoFe/Ru/CoFe, or may be the laminated structure of four or more layers.

[0057] Moreover, although orientation of these magnetic layers does not necessarily have to be carried out, it is desirable for the structure of a crystal lattice to carry out plane orientation in the magnetic substance of fcc (111), it is desirable to carry out plane orientation in the magnetic substance of bcc structure (100), and it is it is desirable to carry out the maximum dense plane orientation, and desirable [ the magnetic layers ] for the c-th page to carry out orientation within a field in the magnetic substance of hcp structure.

[0058] Next, the gestalt of operation of the 2nd of this invention is explained. Drawing 3 is a conceptual diagram showing the cross-section structure of the magneto-resistive effect element concerning the gestalt of operation of the 2nd of this invention. That is, the magneto-resistive effect element of this operation gestalt also has the structure where the laminating of the antiferromagnetism layer 10, the 1st magnetic layer 20, the nonmagnetic interlayer 30, the 2nd magnetic layer 40, and the nonmetal layer 50 was carried out to this order, on a predetermined substrate. Since the concrete configuration and concrete role of each class can be made to be the same as that of the thing and outline which were mentioned above about drawing 1 thru/or drawing 2 , the same sign is given to the same portion and detailed explanation is omitted.

[0059] Moreover, in drawing 3 , since it was easy, the hard magnetism films 80 and 80 and electrodes 82 and 82 which were illustrated to drawing 1 were omitted.

[0060] In this operation gestalt, it is characterized by the 1st ferromagnetic metal layer 22 consisting of a laminated structure of two or more sorts of ferromagnetics. That is, in the example expressed to drawing 3 , the 1st ferromagnetic metal layer 22 has the structure which carried out the laminating of 1st layer 22A and the 2nd layer 22B.

[0061] As for 1st layer 22A, what acts substantially as a magnetic fixing layer and can acquire a big one direction anisotropy as the material is desirable. A cobalt (Co) system magnetism alloy can specifically be mentioned. On cobalt, iron (Fe), nickel (nickel), gold (Au), silver (Ag), The alloy which added any one sort of the elements, such as copper (Cu), palladium (Pd), platinum (Pt), iridium (Ir), a rhodium (Rh), a ruthenium (Ru), an osmium (Os), and a hafnium (Hf), or two sorts or more can be mentioned.

[0062] 2nd layer 22B consists of a material with the high resistance over the oxidation, nitriding, or fluoride reaction in the case of formation of the nonmetal layer 24 while having the ferromagnetic property that it can act as a magnetic fixing layer. That is, as mentioned above about the 1st operation gestalt, although the nonmetal layer 24 is formed in response to the time of making the nonmetal layer 24 form by the reaction, in this case, the surface layer of 2nd layer 22B can prevent too much reaction, and can obtain the nonmetal layer 24 ultra-thin as a whole and uniform with sufficient repeatability. As a material of 2nd layer 22B, the alloy of a nickel (nickel) system can be mentioned, for example.

[0063] According to this operation gestalt, the various effects mentioned above about the 1st operation gestalt are acquired similarly, further, by preparing 1st layer 22A with a high bulk effect in the 1st ferromagnetic metal layer 22, a magnetization fixing property can be improved and a bigger one direction anisotropy field can be obtained.

[0064] Next, the gestalt of operation of the 3rd of this invention is explained. Drawing 4 is a conceptual diagram showing the cross-section structure of the magneto-resistive effect element concerning the gestalt of operation of the 3rd of this invention. That is, the magneto-resistive effect element of this operation gestalt also has the structure where the laminating of the antiferromagnetism layer 10, the 1st magnetic layer 20, the nonmagnetic interlayer 30, the 2nd magnetic layer 40, and the nonmetal layer 50 was carried out to this order, on a predetermined substrate. Since the

concrete configuration and concrete role of each class can be made to be the same as that of the thing and outline which were mentioned above about drawing 1 thru/or drawing 2 , the same sign is given to the same portion and detailed explanation is omitted.

[0065] Moreover, in drawing 4 , since it was easy, the hard magnetism films 80 and 80 and electrodes 82 and 82 which were illustrated to drawing 1 were omitted.

[0066] In this operation gestalt, it has the structure to which the 1st magnetic layer 20 carried out the laminating of a two-layer nonmetal layer and at least three-layer ferromagnetic metal layer by turns at least. That is, in the example expressed to drawing 4 , the 1st magnetic layer 20 has the structure which carried out the laminating of the 1st layer 22A which consists of a ferromagnetic metal, 1st nonmetal layer 24A, the 2nd layer 22B which consists of a ferromagnetic metal, 2nd nonmetal layer 24B, and the 3rd layer 26 which consists of a ferromagnetic metal to this order.

[0067] In order to secure a magnetization fixing property, it is necessary to maintain magnetic coupling of each class which consists of a ferromagnetic metal, i.e., the 1st - the 3rd layer 22A, 22B, and 26. for this reason -- being alike -- although it is necessary to make thin thickness of the nonmetal layers 24A and 24B made to intervene among these, if it forms too much thinly, it will be easy to produce a pinhole etc. and the effectiveness of electronic specular reflection will fall.

[0068] On the other hand, according to this operation gestalt, by forming the nonmetal layers 24A and 24B separately, an interface with a ferromagnetic layer can increase and the probability for specular reflection of the electron to be carried out can be doubled. That is, the effectiveness of electronic specular reflection can be doubled, securing magnetic coupling between ferromagnetic layers using the ultra-thin nonmetal layer in which a pinhole etc. may exist by making two or more nonmetal layers intervene separately between the layers which consist of a ferromagnetic according to this operation gestalt. As the result, maintaining a magnetic fixing property, loss of an electronic momentum can be reduced substantially and big MR property can be realized.

[0069] Next, the gestalt of operation of the 4th of this invention is explained. Drawing 5 is a conceptual diagram showing the cross-section structure of the magneto-resistive effect element concerning the gestalt of operation of the 4th of this invention. That is, the magneto-resistive effect element of this operation gestalt also has the structure where the laminating of the antiferromagnetism layer 10, the 1st magnetic layer 20, the nonmagnetic interlayer 30, the 2nd magnetic layer 40, and the nonmetal layer 50 was carried out to this order. Since the concrete configuration and concrete role of each class can be made to be the same as that of the thing and outline which were mentioned above about drawing 1 thru/or drawing 2 , the same sign is given to the same portion and detailed explanation is omitted.

[0070] Moreover, in drawing 5 , since it was easy, the hard magnetism films 80 and 80 and electrodes 82 and 82 which were illustrated to drawing 1 were omitted.

[0071] In this operation gestalt, the 1st magnetic layer 20 has at least one-layer nonmetal layer in the medium. The ferromagnetic metal layer prepared in contact with this nonmetal layer A lithium (Li), Beryllium (Be), sodium (Na), magnesium (Mg), Aluminum (aluminum), silicon (Si), \*\*\*\* (P), a potassium (K), Calcium (calcium), a scandium (Sc), a gallium (Ga), a rubidium (Rb), It is characterized by the thing of the element belonging to strontium (Sr), an yttrium (Y), caesium (Cs), barium (Ba), and lanthanum series for which either is contained 1% or more at least. For example, in the example expressed to drawing 5 , the 1st magnetic layer 20 comes to carry out the laminating of 1st ferromagnetic metal layer 22', the nonmetal layer 24, and the 2nd ferromagnetic metal layer 26 to this order. And 1st ferromagnetic metal layer 22' contains one of the above-mentioned elements 1% or more.

[0072] Formation of the nonmetal layer 24 performs the front face of 1st ferromagnetic metal layer 22' oxidation, nitriding, or by carrying out fluoride. In this formation process, chromium, aluminum, or silicon can react preferentially and can form the precise and smooth nonmetal layer 24. As the result, good MR rate of change can be acquired with sufficient repeatability.

[0073] In addition, it sets in the structure illustrated to drawing 4 other than the structure illustrated to drawing 5 . Even if there are few ferromagnetic metal layers 22A and 22B, to either A lithium (Li), Beryllium (Be), sodium (Na), magnesium (Mg), Aluminum (aluminum), silicon (Si), \*\*\*\* (P), a potassium (K), Calcium (calcium), a scandium (Sc), a gallium (Ga), a rubidium (Rb), The same effect can be acquired, even if there are few elements belonging to strontium (Sr), an yttrium (Y), caesium (Cs), barium (Ba), and lanthanum series and it makes either contain 1% or more.

[0074] Next, the gestalt of operation of the 5th of this invention is explained. Drawing 6 is a conceptual diagram showing the cross-section structure of the magneto-resistive effect element concerning the gestalt of operation of the 5th of this invention. That is, the magneto-resistive effect element of this operation gestalt also has the spin bulb structure where the laminating of the antiferromagnetism layer 10, the 1st magnetic layer 20, the nonmagnetic middle class 30, the 2nd magnetic layer 40, and the nonmetal layer 50 was carried out to this order. Since the concrete configuration and concrete role of each class can be made to be the same as that of the thing and outline which were mentioned above

about drawing 1 thru/or drawing 2 , the same sign is given to the same portion and detailed explanation is omitted.

[0075] Moreover, in drawing 6 , since it was easy, the hard magnetism films 80 and 80 and electrodes 82 and 82 which were illustrated to drawing 1 were omitted.

[0076] Also in this operation gestalt, the 1st magnetic layer 20 has the structure which carried out the laminating of the ferromagnetic metal layer 22, nonmetal layer 24', and the ferromagnetic metal layer 26. And nonmetal layer 24' is taken as within the limits of formula  $Px(n+0.3) \leq T \leq Px(n+0.7)$ , when it was the antiferromagnetic substance, and T and its magnetic period are set to P and it sets an integer to n for the thickness.

[0077] By considering as such a configuration, magnetic association of the ferromagnetic metal layers 22 and 26 of the upper and lower sides which sandwiched nonmetal layer 24' can be considered as anti-parallel. That is, if the number of the atomic planes of nonmetal layer 24' is controlled as mentioned above, the 1st magnetic layer 20 can be made into the so-called "synthetic antiferromagnetism structure." And in this way, since magnetization of the up-and-down magnetic layers 22 and 26 denies and suits, the magnetization fixing layer 20, i.e., the 1st magnetic layer, can make small enough the static magnetic field given to the free layer 40, i.e., the 2nd magnetic layer. Although the shift of the operating point by the static magnetic field from the magnetization fixing layer 20, i.e., the 1st magnetic layer, poses a big problem when manufacturing the actual magnetic head, according to this operation gestalt, it can solve this problem by using the 1st magnetic layer 20 as the synthetic antiferromagnetic substance.

[0078] Moreover, although it becomes possible by the so-called specular spin bulb to acquire bigger MR rate of change by making thickness of a free layer thin, if a free layer is simply made thin, the problem that the operating point shifts under the effect of a static magnetic field as mentioned above will arise. On the other hand, according to this operation gestalt, from using the 1st magnetic layer 20 as the synthetic antiferromagnetic substance, it becomes possible to make a free layer thin enough, and the specular effect can be used more for validity.

[0079] As an example of nonmetal layer 24', the oxide containing nickel (nickel) can be mentioned, for example. For example, when forming the thin film to which the maximum dense plane orientation of the nickel oxide was carried out, the laminating of the atomic layer which nickel contained, and the atomic layer from which oxygen serves as a subject is carried out by turns. In this operation gestalt, the magnetization direction of the ferromagnetic of the upper and lower sides can be considered as anti-parallel by seeing in the direction of thickness of nonmetal layer 24', and making the number of these atomic layers into even number in total.

[0080] Next, it explains, referring to drawing 6 about the example of transformation of a \*\*\*\* 5 operation gestalt.

[0081] That is, the magneto-resistive effect element of this example of transformation also has the spin bulb structure where the laminating of the antiferromagnetism layer 10, the 1st magnetic layer 20, the nonmagnetic middle class 30, the 2nd magnetic layer 40, and the nonmetal layer 50 was carried out to this order. Since the concrete configuration and concrete role of each class can be made to be the same as that of the thing and outline which were mentioned above about drawing 1 thru/or drawing 2 , the same sign is given to the same portion and detailed explanation is omitted.

[0082] Also in this operation gestalt, the 1st magnetic layer 20 has the structure which carried out the laminating of the ferromagnetic metal layer 22, nonmetal layer 24', and the ferromagnetic metal layer 26. And nonmetal layer 24' is taken as within the limits of formula  $Px(n-0.2) \leq T \leq Px(n+0.2)$ , when it was the antiferromagnetic substance, and T and its magnetic period are set to P and it sets an integer to n for the thickness.

[0083] By considering as such a configuration, magnetic association of the ferromagnetic metal layers 22 and 26 of the upper and lower sides which sandwiched nonmetal layer 24' can be made parallel. That is, if the number of the atomic planes of nonmetal layer 24' is controlled as mentioned above, it will become possible using magnetic association of the antiferromagnetic substance to carry out magnetic connection of the ferromagnetics 22 and 26 strongly, and it will become possible to acquire good magnetic stability. According to this example of transformation, a more stable magneto-resistive effect element can be offered by improving magnetic stability.

[0084] As an example of nonmetal layer 24', the oxide containing nickel (nickel) can be mentioned, for example. For example, when forming the thin film to which the maximum dense plane orientation of the nickel oxide was carried out, the laminating of the atomic layer which nickel contained, and the atomic layer from which oxygen serves as a subject is carried out by turns. In this example of transformation, the magnetization direction of the ferromagnetic of the upper and lower sides is made [ becoming parallel or ] by seeing in the direction of thickness of nonmetal layer 24', and making the number of these oxygen atomic layers into even number in total. In order that magnetization may join together on both sides of an oxygen atomic layer at anti-parallel in NiO, this is equal to only about even layers of oxygen atomic layers being contained.

[0085] Next, the gestalt of operation of the 6th of this invention is explained. Drawing 7 is a conceptual diagram showing the cross-section structure of the magneto-resistive effect element concerning the gestalt of operation of the 6th of this invention. That is, the magneto-resistive effect element of this operation gestalt also has the antiferromagnetism

layer 10, the 1st magnetic layer 20, the nonmagnetic interlayer 30, the 2nd magnetic layer 40, and the nonmetal layer 50. Since the concrete configuration and concrete role of each class can be made to be the same as that of the thing and outline which were mentioned above about drawing 1 thru/or drawing 2, the same sign is given to the same portion and detailed explanation is omitted.

[0086] Moreover, in drawing 7, since it was easy, the hard magnetism films 80 and 80 and electrodes 82 and 82 which were illustrated to drawing 1 were omitted.

[0087] The sequence of the laminating of each class is reversed in this operation gestalt. That is, in the 1st operation gestalt mentioned above, the laminating is carried out to the order of the antiferromagnetism layer 10, the 1st magnetic layer 20, the nonmagnetic interlayer 30, the 2nd magnetic layer 40, and the nonmetal layer 50 on the substrate. On the other hand, in this operation gestalt, the sequence of a laminating is reverse, and the laminating of the nonmetal layer 50, the 2nd magnetic layer 40, the nonmagnetic interlayer 30, the 1st magnetic layer 20, and the antiferromagnetism layer 10 is carried out to this order on the predetermined substrate layer 60.

[0088] However, also in this operation gestalt, the sequence of the laminating of the layers 22, 24A, 24B, and 26 which constitute the 1st magnetic layer 20 is the same as the case of the 1st operation gestalt. That is, nonmetal layer 24A prevents oxidation, nitriding, or a fluoride reaction, and has a role of a stop layer for forming the thickness of the nonmetal layer 24 in homogeneity thinly. However, in this operation gestalt, electronic specular reflection arises in the interface of layer 24A and the ferromagnetic metal layer 22.

[0089] According to this operation gestalt, the thickness of the nonmetal layer 24 can be formed in homogeneity very thinly, and the same various effects as the 1st operation gestalt can be acquired similarly.

[0090] Moreover, a laminating may be similarly carried out to the sequence of reverse about each structure illustrated about the 2nd - the 5th operation gestalt which were mentioned above. That is, a laminating may be carried out to the sequence of the nonmetal layer 50, the 2nd magnetic layer 40, the nonmagnetic interlayer 30, the 1st magnetic layer 20, and the antiferromagnetism layer 10 about each of the laminated structure expressed to drawing 3 - drawing 6. However, the laminated structure of each class which constitutes the 1st magnetic layer 20 also in these cases needs to presuppose that it is the same as that of what was expressed to drawing 3 - drawing 6.

[0091] Thus, the same effect can be acquired even if it reverses the sequence of a laminating.

[0092] In the above, the configuration which prepared the nonmetal layer in the medium of the 1st magnetic layer was explained as a gestalt of the 1st - the 6th operation.

[0093] On the other hand, the nonmetal layer which carries out specular reflection of the electron may be prepared between an antiferromagnetism layer and the 1st magnetic layer, as illustrated to drawing 8. That is, in the example expressed to drawing 8, the laminating of the antiferromagnetism layer 10, the nonmetal layer 24, the 1st magnetic layer 20, the nonmagnetic interlayer 30, the 2nd magnetic layer 40, and the nonmetal layer 50 is carried out to this order on the predetermined substrate. Since the concrete configuration and concrete role of each class can be made to be the same as that of the thing and outline which were mentioned above about drawing 1 thru/or drawing 2 also about this drawing, the same sign is given to the same portion and detailed explanation is omitted. Moreover, in drawing 8, since it was easy, the hard magnetism films 80 and 80 and electrodes 82 and 82 which were illustrated to drawing 1 were also omitted.

[0094] In the structure illustrated to drawing 8, between the nonmetal layer 24 and the nonmetal layer 50, an electron repeats specular reflection and flows. Here, as a material of the antiferromagnetism layer 10, IrMn, PtMn, NiMn, FeMn, etc. can be used, for example. The good magnetization fixing property which has a high blocking temperature and has a big one direction anisotropy can be acquired by using the metal which has antiferromagnetism especially.

[0095] moreover -- as the material of the nonmetal layer 24 -- NiO, CoO, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> etc. -- it can use. Especially, a good electronic reflection effect can be acquired as a material of the nonmetal layer 24 by choosing the material which has antiferromagnetism, without spoiling the good magnetization fixing property which the metal antiferromagnetic substance has.

[0096] In the configuration of drawing 8, in order to acquire the good bias effect, as for the nonmetal layer 24 used as an electronic reflecting layer, it is desirable that it is the antiferromagnetic substance or a ferromagnetic. As a nonmetal layer 24, when using the antiferromagnetic substance, it is desirable to set the thickness to 5nm or less, and the bias property which was further excellent in the temperature characteristic can be acquired by being referred to as 2 morenm or less.

[0097] As a nonmetal layer 24, also when using a ferromagnetic, as for the thickness, it is desirable to be referred to as 5nm or less, and the bias property which was further excellent in the temperature characteristic can be acquired by being referred to as 2 morenm or less.

[0098] On the other hand, as illustrated to drawing 9, the nonmetal layer which carries out specular reflection of the

electron may be prepared in the medium of an antiferromagnetism layer. That is, in the structure illustrated to drawing 9, the laminating of 1st antiferromagnetism layer 10A, the nonmetal layer 24, antiferromagnetism layer 10 of \*\* 2nd B, the 1st magnetic layer 20, the nonmagnetic interlayer 30, the 2nd magnetic layer 40, and the nonmetal layer 50 is carried out to this order on the predetermined substrate. Since the concrete configuration and concrete role of each class can be made to be the same as that of the thing and outline which were mentioned above about drawing 1 thru/or drawing 2 also about this drawing, the same sign is given to the same portion and detailed explanation is omitted. Moreover, in drawing 9, since it was easy, the hard magnetism films 80 and 80 and electrodes 82 and 82 which were illustrated to drawing 1 were also omitted.

[0099] Thus, the direct laminating of the antiferromagnetic substance and the ferromagnetic is carried out by forming the nonmetal layer 24 to which specular reflection of the electron is carried out in the medium of the antiferromagnetism layer 10, and the buildup of MR by the specular reflection effect can be acquired by direct switched connection, realizing a better magnetization fixing property.

[0100] Moreover, IrMn, PtMn, NiMn, FeMn, etc. can be used as a material of the 1st antiferromagnetism layer 10A and 10B. The good magnetization fixing property which has a high blocking temperature and has a big one direction anisotropy can be acquired by using a metallic material especially.

[0101] moreover -- as the material of the nonmetal layer 24 -- NiO, CoO, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> etc. -- it can use. Especially, a good electronic reflection effect can be acquired as a material of the nonmetal layer 24, without spoiling the good magnetization fixing property which the metal antiferromagnetic substance has by choosing the material which has antiferromagnetism.

[0102] Moreover, in order to acquire the bigger MR effect, it is desirable to make thickness of 2nd antiferromagnetism layer 10B as thin as possible, and it is desirable that it is 3nm or less. Moreover, although it may be thicker than this about 1st antiferromagnetism layer 10A, in order to control the shunt effect of current, it is desirable that it is 10nm or less. Furthermore, when sufficient bias effect is acquired, 1st antiferromagnetism layer 10A can also be omitted.

[0103] On the other hand, two or more magnetization fixing layers may be prepared. Drawing 10 is a conceptual diagram which illustrates the structure which prepared the magnetization fixing layer up and down. That is, in the structure illustrated to this drawing, as illustrated, the laminating of a buffer layer 2, the antiferromagnetism layer 10, the 1st magnetic layer 20, the nonmagnetic interlayer 30, the 2nd magnetic layer 40, the nonmagnetic interlayer 30, the 1st magnetic layer 20, the antiferromagnetism layer 10, and the protective layer 60 is carried out to this order on the predetermined substrate. That is, mostly, the 2nd magnetic layer 40 used as a free layer of a laminated structure is formed in the center, and the interlayer 30, the fixing layer 20, etc. are formed in the upper and lower sides at the symmetry. Since the concrete configuration and concrete role of each class can be made to be the same as that of the thing and outline which were mentioned above about drawing 1 thru/or drawing 2 also about this drawing, the same sign is given to the same portion and detailed explanation is omitted. Moreover, in drawing 10, since it was easy, the hard magnetism films 80 and 80 and electrodes 82 and 82 which were illustrated to drawing 1 were also omitted.

[0104] Here, each laminated structure which was illustrated to drawing 1 - drawing 9 is applicable to the structure expressed to drawing 10. That is, the 2nd magnetic layer 40 can be formed for each laminated structure mentioned above about drawing 1 - drawing 9 in the symmetry up and down as a center.

[0105] Thus, in addition to the various effects mentioned above about drawing 1 - drawing 9, the effect that big MR rate of change can be acquired also in the case of a little low reflection factor is also acquired by forming the magnetic layer 20 of the magnetic layer 40 used as a free layer which turns into a magnetization fixing layer up and down. Moreover, since a free layer is arranged near the center of the passage of current, the effect that there is little effect a free layer is influenced and actuation is stabilized is also collectively acquired by the current magnetic field.

[0106] On the other hand, in this way, if a magnetization fixing layer is prepared up and down, static magnetism-association from a magnetization fixing layer will double, in case [ of a free layer ] there is a magnetization fixing layer. Therefore, in order to form magnetization of anti-parallel in the interior of a magnetization fixing layer, it becomes more important to use the so-called "synthetic antiferromagnetism structure." Drawing 11 is a cross-section conceptual diagram showing the modification which adopted such synthetic antiferromagnetism structure. That is, in drawing 11, the 1st magnetic layer 20 used as a magnetization fixing layer is made into the structure which carried out the laminating of 1st ferromagnetic metal layer 22A, the ruthenium (Ru) layer 28, ferromagnetic metal layer 22 of \*\* 2nd B, the nonmetal layer 24, and the 3rd ferromagnetic metal layer 22C to order, respectively. Thus, if the ruthenium (Ru) layer 28 is formed, the magnetization direction of the ferromagnetic layer of the upper and lower sides will serve as anti-parallel. That is, the magnetization direction of 2nd ferromagnetic metal layer 22B and 3rd ferromagnetic metal layer 22C serves as anti-parallel to the magnetization direction of 1st ferromagnetic metal layer 22A. Therefore, if it is made for the sum total of the thickness of layer 22B and the thickness of layer 22C to become almost equal to the thickness of



layer 22A, the whole magnetization direction is canceled in the interior of the 1st magnetic layer 20, and electrostatic coupling from a magnetization fixing layer can be canceled.

[0107] Moreover, in the structure of drawing 11, the specular effect to which specular reflection of the electron is carried out can also be simultaneously acquired by forming the nonmetal layer 24. That is, an electron flows, receiving specular reflection between two nonmetal layers 24 in which the free layer 40, i.e., the 2nd magnetic layer, was formed up and down. For this reason, loss of an electronic momentum can be reduced, sensitivity sufficient also by the magnetic layer of 2nm or less of thickness can be secured as the free layer 40, i.e., the 2nd magnetic layer, and the still bigger MR effect can be acquired.

[0108] Moreover, in the structure of drawing 11, the nonmetal layer 24 is formed between the ruthenium layer 28 and the 2nd magnetic layer 40. This reason is that the ruthenium layer 28 has the property scattered about in an electron. That is, if a ruthenium layer is prepared in the main paths of current, electrons will be scattered about and loss will arise. On the other hand, in the configuration of drawing 11, by forming the nonmetal layer 24 between the ruthenium layer 28 and the 2nd magnetic layer 40, the ruthenium layer 28 can be removed from a current path, and loss by electronic dispersion can be canceled.

[0109] Next, the magnetic recording medium of this invention is explained. The magneto-resistive effect element of each operation gestalt explained above is included in the magnetic head of for example, record playback one apparatus, and is carried in a magnetic recording medium.

[0110] Drawing 12 is an important section perspective diagram which illustrates the outline configuration of such a magnetic recording medium. That is, the magnetic recording medium 150 of this invention is equipment of the format which used the rotary actuator. In this drawing, a spindle 152 is equipped with a magnetic disk 151, and it rotates by the motor which answers a control signal from the driving gear control section which is not illustrated and which is not illustrated. The head slider 153 which performs informational record playback after the magnetic disk 151 has surfaced is attached at the head of the thin film-like suspension 154. Here, the head slider 153 carries the magneto-resistive effect element which starts the gestalt of one of operations mentioned above, for example as a part of magnetic head.

[0111] A revolution of a magnetic disk 151 holds the data-medium opposed face (ABS) of the head slider 153 with the predetermined flying height from the front face of a magnetic disk 151.

[0112] The suspension 154 is connected to the end of the actuator arm 155 which has the bobbin section holding the drive coil which is not illustrated etc. The voice coil motor 156 which is a kind of a linear motor is formed in the other end of an actuator arm 155. A voice coil motor 156 consists of a drive coil which was able to be wound up in the bobbin section of an actuator arm 155 and which is not illustrated, and a magnetic circuit which consists of the permanent magnet and opposite yoke which have been countered and arranged so that this coil may be put.

[0113] An actuator arm 155 is held by the ball bearing which was prepared in two upper and lower sides of the fixed shaft 157 and which is not illustrated, and has come to be able to perform a revolution slide free with a voice coil motor 156.

[0114] According to this invention, a big playback output signal and good thermal stability can be obtained by adopting the magneto-resistive effect element concerning each operation gestalt mentioned above as an important section of the magnetic head. Furthermore, aging of a playback output is also cancelable as the result. Moreover, the resistance over ESD (electro-static discharge: static electricity) in which it is impressed in the case of an assembly and deals is also improved, and the yield in the case of assembly also improves.

[0115] The formation of a \*\* truck and low element height-ization are attained from the above effect, and the magnetic recording medium corresponding to high density magnetic recording can be realized.

[0116] In the above, the gestalt of operation of this invention was explained.

[0117] Next, the concrete example of this invention is explained.

[0118] (Example 1) The 1st example of this invention is explained, referring to drawing 1 and drawing 2. First, on the thermal oxidation (silicon Si) substrate, by the spatter, a laminated structure called Ta5 nm/NiFe2 nm/IrMn5 nm/NiFe1 nm/CoFe0.5nm was formed, the front face was exposed to the oxygen of  $1 \times 10^{-4}$  torr for 60 seconds, and the nonmetal layer 24 was formed. And on it, a laminated structure called CoFe2 nm/Cu2 nm/CoFe2nm was formed further, the front face was exposed to the oxygen of  $1 \times 10^{-4}$  torr for 60 seconds, and the nonmetal layer 50 was formed. And Ta0.4nm was deposited as a protective coat on it, and it took out in atmospheric air. Consequently, surface Ta also oxidized and the oxidizing zone was formed. As this result, a laminated structure called Ta5 nm/NiFe2 nm/IrMn5 nm/NiFe0.6 nm/NiFeO0.4 nm/CoFeO0.5 nm/CoFe2 nm/Cu2 nm/CoFe1.6 nm/CoFeO0.4 nm/TaO0.4nm was obtained. Here, by having inserted NiFe which cannot oxidize easily between the IrMn layer and the CoFe layer, the thickness of the nonmetal layer 24 was controlled by 1nm, and it became possible to form an ultra-thin nonmetal layer with sufficient repeatability.



[0119] For this reason, magnetic association through the nonmetal layer 24 in the magnetization fixing layer 20 was fully strong, and spin bulb structure excellent in the magnetization fixing property was able to be realized. Specifically, 18% of MR rate of change and one direction anisotropy magnetic field (HUA) 400Oe were able to be obtained. Moreover, in order to improve the whole crystallinity, deterioration was not seen by the magnetization fixing property of the fixing layer 20 when oxidation treatment for formation of the nonmetal layer 24 was carried out in 200 degrees C.

[0120] (Example 1 of a comparison) For the comparison to the above-mentioned example 1, on the thermal oxidation (silicon Si) substrate, a laminated structure called Ta5 nm/NiFe2 nm/IrMn5 nm/CoFe2.0nm was formed, the front face was exposed to the oxygen of  $1 \times 10^{-4}$  torr for 60 seconds, and the nonmetal layer was formed by the spatter. And on it, a laminated structure called CoFe2 nm/Cu2 nm/CoFe2nm was formed further, the front face was exposed to the oxygen of  $1 \times 10^{-4}$  torr for 60 seconds, and the nonmetal layer was formed. And Ta0.4nm was deposited as a protective coat on it, and it took out in atmospheric air. Consequently, surface Ta also oxidized and the oxidizing zone was formed. As this result, a laminated structure called Ta5 nm/NiFe2 nm/IrMn5 nm/CoFe0.5 nm/CoFeO1.5 nm/CoFe2 nm/Cu2 nm/CoFe1.6 nm/CoFeO0.4 nm/TaO0.4nm was obtained. That is, in this example of a comparison, the thickness of the CoFeO layer obtained by oxidation of CoFe progressing too much has become thick with 1.5nm. For this reason, magnetic association through the CoFe layer in a magnetization fixing layer was weak, and deterioration was looked at by the magnetization fixing property. Specifically, HUA fell to 200Oe. Moreover, in order to improve the whole crystallinity, when oxidation treatment for formation of a nonmetal layer was carried out in 200 degrees C, as for the magnetization fixing property of a fixing layer, it turned out that it deteriorated further and thick-film-ization by oxidation of a nonmetal layer advanced further.

[0121] (Example 2) The 2nd example of this invention is explained, referring to drawing 3. First, on the thermal oxidation (silicon Si) substrate, by the spatter, a laminated structure called Ta5 nm/NiFe2 nm/IrMn5 nm/CoFe1 nm/nickel1nm was formed, the front face was exposed to the oxygen of  $1 \times 10^{-4}$  torr for 60 seconds, and the nonmetal layer 24 was formed. And on it, a laminated structure called CoFe2 nm/Cu2 nm/CoFe2nm was formed further, the front face was exposed to the oxygen of  $1 \times 10^{-4}$  torr for 60 seconds, and the nonmetal layer 50 was formed. And Ta0.4nm was deposited as a protective coat on it, and it took out in atmospheric air. Consequently, surface Ta also oxidized and the oxidizing zone was formed. As this result, a laminated structure called Ta5 nm/NiFe2 nm/IrMn5 nm/CoFe1 nm/nickel0.5 nm/NiO0.5 nm/CoFe2 nm/Cu2 nm/CoFe1.6 nm/CoFeO0.4 nm/TaO0.4nm was obtained.

[0122] In this example, by having prepared nickel layer which cannot oxidize easily in the front face, and the IrMn layer and the touching layer having pinched the CoFe layer, the thickness of the nonmetal layer 24 was controlled by 1nm, and it became possible to form an ultra-thin nonmetal layer with sufficient repeatability.

[0123] For this reason, magnetic association through the nonmetal layer 24 in the magnetization fixing layer 20 was fully strong, and spin bulb structure excellent in the magnetization fixing property was able to be realized. Moreover, the one direction anisotropy strong enough was able to be acquired with the combination of an IrMn layer and a CoFe layer. Specifically, 550Oe(s) were able to be obtained as an one direction anisotropy magnetic field 17% as MR rate of change. Furthermore, in order to improve the whole crystallinity, deterioration was not seen by the magnetization fixing property of the fixing layer 20 when oxidation treatment for formation of the nonmetal layer 24 was carried out in 200 degrees C.

[0124] (Example 3) The 3rd example of this invention is explained, referring to drawing 4. First, on the thermal oxidation (silicon Si) substrate, by the spatter, a laminated structure called Ta5 nm/NiFe2 nm/IrMn5 nm/CoFe1nm was formed, the front face was exposed to the oxygen of  $1 \times 10^{-5}$  torr for 10 seconds, and 1st nonmetal layer 24A was formed. And CoFe1nm was further deposited on it, the front face was exposed to the oxygen of  $1 \times 10^{-5}$  torr for 10 seconds once again, and 2nd nonmetal layer 24B was formed.

[0125] Furthermore, on it, a laminated structure called CoFe2 nm/Cu2 nm/CoFe2nm was formed, the front face was exposed to the oxygen of  $1 \times 10^{-4}$  torr for 60 seconds, and the nonmetal layer 50 was formed. And Ta0.4nm was deposited as a protective coat on it, and it took out in atmospheric air. Consequently, surface Ta also oxidized and the oxidizing zone was formed. As this result, a laminated structure called Ta5 nm/NiFe2 nm/IrMn5 nm/CoFe0.7 nm/CoFeO0.3 nm/CoFe0.7 nm/CoFeO0.3 nm/CoFe2 nm/Cu2 nm/CoFe1.6 nm/CoFeO0.4 nm/TaO0.4nm was obtained.

[0126] In this example, although the ultra-thin CoFeO layers 24A and 24B in which a pinhole may exist by weak oxidation were formed, from making a nonmetal layer two-layer in this way, the mirror reflectivity of the whole electron has been improved and the big MR effect of about 18% was able to be acquired.

[0127] (Example 4) The 4th example of this invention is explained, referring to drawing 5. First, on the thermal oxidation (silicon Si) substrate, by the spatter, a laminated structure called Ta5 nm/NiFe2 nm/IrMn5 nm/CoFeCr2nm was formed, the front face was exposed to the oxygen of  $1 \times 10^{-4}$  torr for 60 seconds, and the nonmetal layer 24 was

formed. And on it, further, a laminated structure called CoFe2 nm/Cu2 nm/CoFe2nm was formed, the front face was exposed to the oxygen of  $1 \times 10^{-4}$  torr for 60 seconds, and the nonmetal layer 50 was formed. And Ta0.4nm was deposited as a protective coat on it, and it took out in atmospheric air. Consequently, surface Ta also oxidized and the oxidizing zone was formed. As this result, a laminated structure called Ta5 nm/NiFe2 nm/IrMn5 nm/CoFeCr1.2 nm/CoFeCrO0.8 nm/CoFe2 nm/Cu2 nm/CoFe1.6 nm/CoFeO0.4 nm/TaO0.4nm was obtained.

[0128] In this example, since Cr oxidized selectively and formed a stable oxide, the ultra-thin nonmetal layer 24 was able to be formed with sufficient repeatability. Furthermore, in order to improve the whole crystallinity, deterioration was not seen by the magnetization fixing property of the fixing layer 20 when oxidation treatment for formation of the nonmetal layer 24 was carried out in 200 degrees C.

[0129] (Example 5) Next, the 5th example of this invention is explained, referring to drawing 6. First, on the thermal oxidation (silicon Si) substrate, by the spatter, a laminated structure called Ta5 nm/NiFe2 nm/IrMn5 nm/CoFe0.5 nm/Cr0.4nm was formed, the front face was exposed to the oxygen of  $1 \times 10^{-5}$  torr for 10 seconds, and nonmetal layer 24' was formed.

[0130] Furthermore, on it, a laminated structure called CoFe2 nm/Cu2 nm/CoFe2nm was formed, the front face was exposed to the oxygen of  $1 \times 10^{-4}$  torr, and the nonmetal layer 50 was formed. And Ta0.4nm was deposited as a protective coat on it, and it took out in atmospheric air. Consequently, surface Ta also oxidized and the oxidizing zone was formed. As this result, a laminated structure called Ta5 nm/NiFe2 nm/IrMn5 nm/CoFe0.5 nm/Cr2O30.5 nm/CoFe2 nm/Cu2 nm/CoFe1.6 nm/CoFeO0.4 nm/TaO0.4nm was obtained.

[0131] In this example, it had the stacking tendency as the whole film (111), and the CoFe layer took fcc structure and became the structure to which the laminating of the field (111) was carried out. Moreover, Cr 2O3 took corundum structure, and the closest packing layer was formed in parallel to the film surface. In the case of corundum structure, CR layer is carrying out antiferromagnetism-association through the oxygen layer, and the magnetic period of a direction vertical to a closest packing layer is 0.452nm. For this reason, when thickness of 2O3 layer of Cr(s) is set to 0.5nm, the two-layer laminating of the oxygen layer will be mostly carried out in the direction of thickness. Consequently, the vertical CoFe layer which sandwiched 2O3 layer of Cr(s) carried out magnetization association at parallel, and it became possible to acquire stable magnetic properties. It is 20% as MR rate of change, and, specifically, 600Oe(s) were able to be obtained as an one direction anisotropy magnetic field (HUA).

[0132] (Example 6) Next, the 6th example of this invention is explained, referring to drawing 6. First, on the thermal oxidation (silicon Si) substrate, by the spatter, a laminated structure called Ta5 nm/NiFe2 nm/IrMn5 nm/CoFe2 nm/Cr0.6nm was formed, the front face was exposed to the oxygen of  $1 \times 10^{-5}$  torr for 10 seconds, and nonmetal layer 24' was formed.

[0133] Furthermore, on it, a laminated structure called CoFe2 nm/Cu2 nm/CoFe2nm was formed, the front face was exposed to the oxygen of  $1 \times 10^{-4}$  torr, and the nonmetal layer 50 was formed. And Ta0.4nm was deposited as a protective coat on it, and it took out in atmospheric air. Consequently, surface Ta also oxidized and the oxidizing zone was formed. As this result, a laminated structure called Ta5 nm/NiFe2 nm/IrMn5 nm/CoFe2 nm/Cr2O30.7 nm/CoFe2 nm/Cu2 nm/CoFe1.6 nm/CoFeO0.4 nm/TaO0.4nm was obtained.

[0134] Also in this example, it had the stacking tendency as the whole film (111), and the CoFe layer took fcc structure and became the structure to which the laminating of the field (111) was carried out. Moreover, Cr 2O3 took corundum structure, and the closest packing layer was formed in parallel to the film surface. In the case of corundum structure, Cr layer is carrying out antiferromagnetism-association through the oxygen layer, and the magnetic period of a direction vertical to a closest packing layer is 0.452nm. For this reason, when thickness of 2O3 layer of Cr(s) is set to 0.7nm, the three-layer laminating of the oxygen layer will be mostly carried out in the direction of thickness. Consequently, magnetization association of the vertical CoFe layer which sandwiched 2O3 layer of Cr(s) was able to be carried out at anti-parallel, it could acquire the synthetic magnetization array, and was able to obtain 19% as MR rate of change.

[0135] (Example 7) Next, the 7th example of this invention is explained, referring to drawing 6. First, on the thermal oxidation (silicon Si) substrate, by the spatter, a laminated structure called Ta5 nm/NiFe2 nm/IrMn5 nm/CoFe0.5 nm/Fe0.4nm was formed, the front face was exposed to the radical oxygen of  $1 \times 10^{-5}$  torr for 10 seconds, and nonmetal layer 24' was formed.

[0136] Furthermore, on it, a laminated structure called CoFe2 nm/Cu2 nm/CoFe2nm was formed, the front face was exposed to the oxygen of  $1 \times 10^{-4}$  torr, and the nonmetal layer 50 was formed. And Ta0.4nm was deposited as a protective coat on it, and it took out in atmospheric air. Consequently, surface Ta also oxidized and the oxidizing zone was formed. As this result, a laminated structure called Ta5 nm/NiFe2 nm/IrMn5 nm/CoFe0.5 nm/ $\alpha$ -Fe 2O30.5 nm/CoFe2 nm/Cu2 nm/CoFe1.6 nm/CoFeO0.4 nm/TaO0.4nm was obtained.

[0137] Also in this example, it had the stacking tendency as the whole film (111), and the CoFe layer took fcc structure

and became the structure to which the laminating of the field (111) was carried out. Moreover, alpha-Fe 2O<sub>3</sub> took corundum structure, and the closest packing layer was formed in parallel to the film surface. In the case of corundum structure, Fe layer is carrying out antiferromagnetism-association through the oxygen layer, and the magnetic period of a direction vertical to a closest packing layer is 0.458nm. For this reason, when thickness of 2O<sub>3</sub> layer of Fe(s) is set to 0.5nm, the two-layer laminating of the oxygen layer will be mostly carried out in the direction of thickness. Consequently, the vertical CoFe layer which sandwiched 2O<sub>3</sub> layer of Fe(s) carried out magnetization association at parallel, and it became possible to acquire stable magnetic properties. Specifically, 600Oe(s) were able to be obtained as an one direction anisotropy magnetic field (HUA) 20% as MR rate of change.

[0138] Moreover, since alpha-Fe 2O<sub>3</sub> had a temperature (Neel temperature) very as high as 670 degrees C to which antiferromagnetism disappears, it was able to obtain a big one direction anisotropy magnetic field called 600Oe also in 100 degrees C which is the environmental temperature actually used as a device.

[0139]

[Effect of the Invention] This invention is carried out with the gestalt explained above, and does so the effect of explaining below.

[0140] First, according to this invention, by preparing the nonmetal layer as an electronic reflecting layer in the medium of a magnetization fixing layer, and carrying out the laminating of two kinds of layers as a substrate of the nonmetal layer, a lower layer can be made to be able to act as a stopper layer to a reaction, and an ultra-thin and uniform nonmetal layer can be formed with sufficient repeatability. As the result, producing electronic specular reflection, magnetic coupling of the 1st ferromagnetic metal layer and the 2nd ferromagnetic metal layer can be secured, and a good magnetization fixing property can be acquired.

[0141] Moreover, according to this invention, when the ferromagnetic metal layer of the nonmetal layer bottom of a magnetization fixing layer is made into multilayer structure and a bulk effect uses the layer of the bottom as the layer of a high ferromagnetic, a magnetization fixing property can be improved further and bigger MR variation can be obtained.

[0142] Moreover, in a magnetization fixing layer, by preparing separately two or more nonmetal layers in which an electron is reflected, an interface with a ferromagnetic layer can increase and, according to this invention, the probability for specular reflection of the electron to be carried out can be doubled. That is, the effectiveness of electronic specular reflection can be doubled, securing magnetic coupling between ferromagnetic layers using the ultra-thin nonmetal layer in which a pinhole etc. may exist. As the result, maintaining a magnetic fixing property, loss of an electronic momentum can be reduced substantially and big MR property can be realized.

[0143] Moreover, according to this invention, SHIFUTO \*\* of the operating point by the static magnetic field from a magnetization fixing layer is cancelable by using as the synthetic antiferromagnetic substance the magnetization fixing layer which contained the nonmetal layer in the medium. Furthermore, since the effect of a static magnetic field is lost, it becomes possible to make a free layer thin enough, and the specular effect can be used more for validity.

---

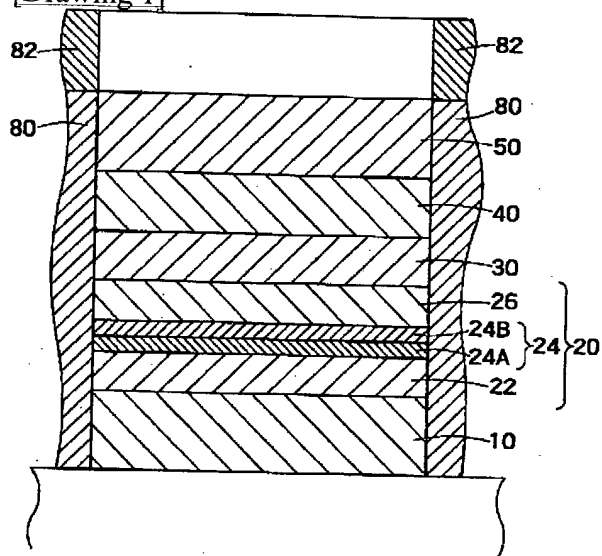
[Translation done.]

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

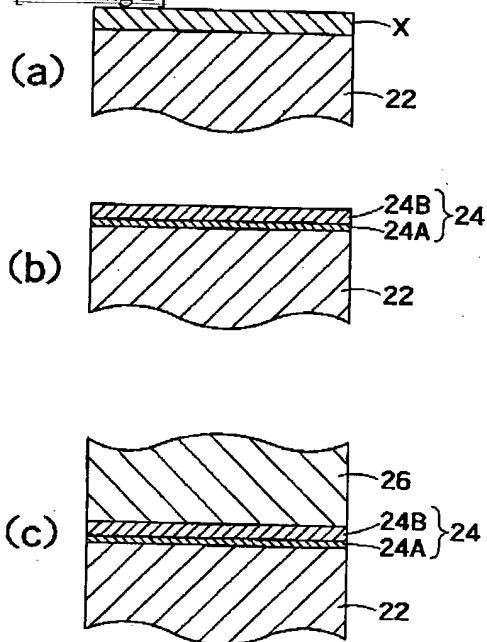
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

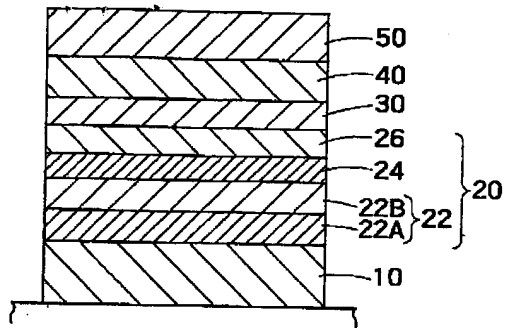
[Drawing 1]



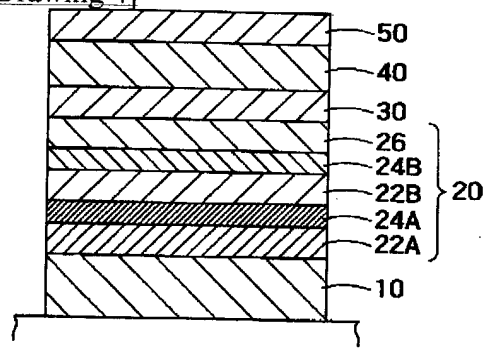
[Drawing 2]



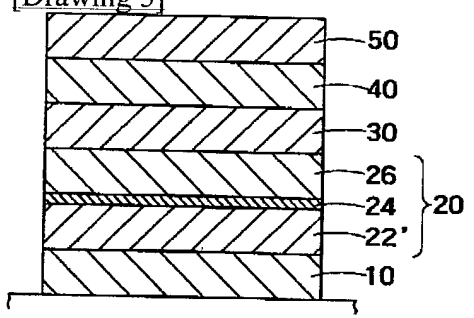
[Drawing 3]



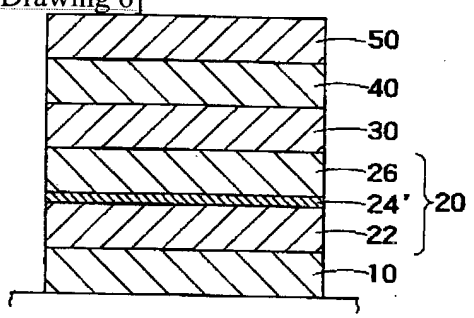
[Drawing 4]



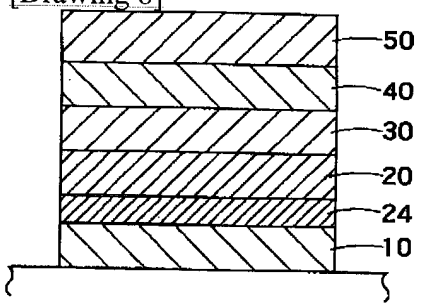
[Drawing 5]



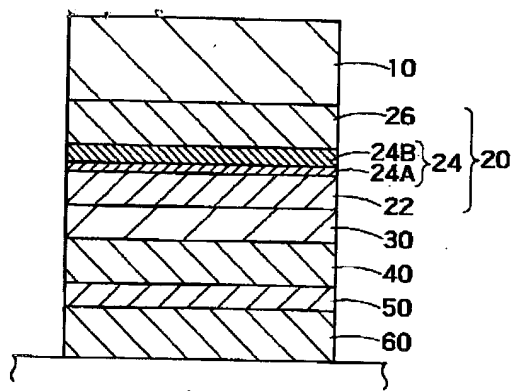
[Drawing 6]



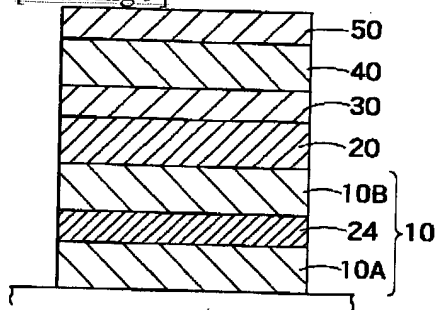
[Drawing 8]



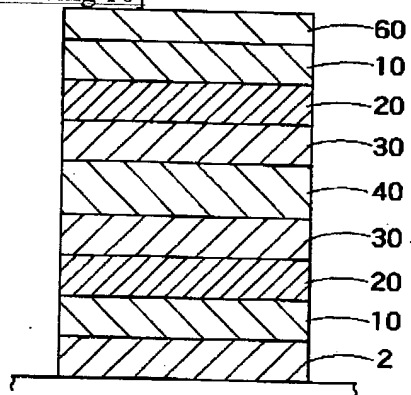
[Drawing 7]



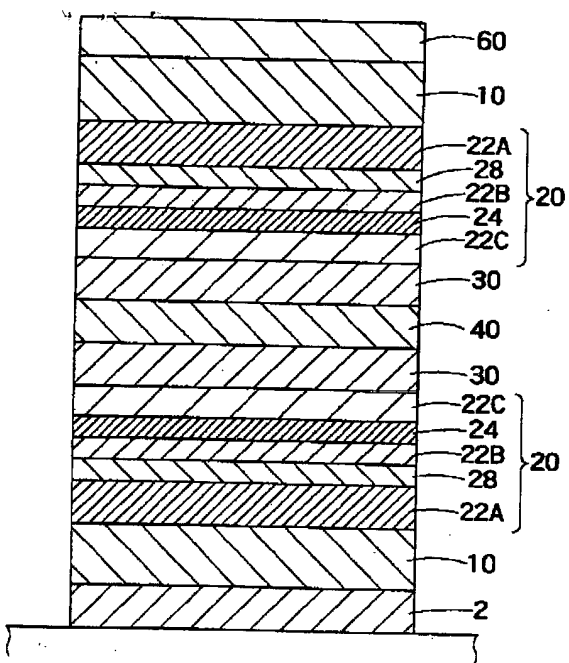
[Drawing 9]



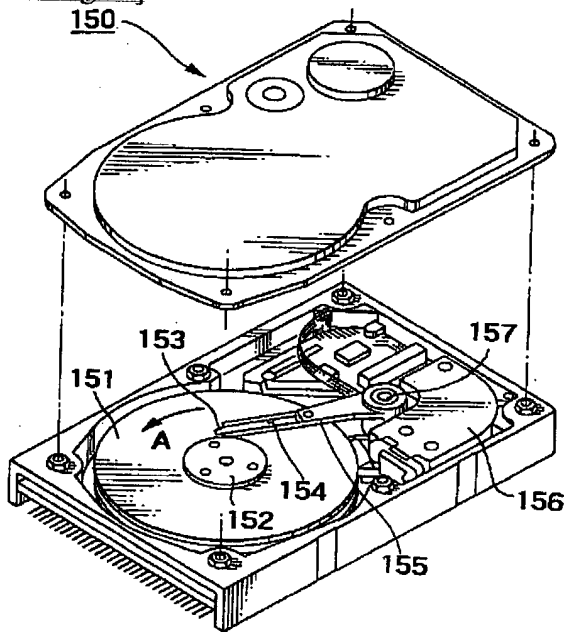
[Drawing 10]



[Drawing 11]



[Drawing 12]



[Translation done.]



(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

データベース\* (参考)

H 0 1 L 43/08

H 0 1 L 43/08

Z

G 1 1 B 5/39

G 1 1 B 5/39

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願平11-374033

(22) 出願日 平成11年12月28日 (1999. 12. 28)

(31) 優先権主張番号 特願平10-377385

(32) 優先日 平成10年12月28日 (1998. 12. 28)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 上 口 裕 三

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1 株式会  
社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 湯 浅 裕 美

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1 株式会  
社東芝研究開発センター内

(74) 代理人 100064285

弁理士 佐藤 一雄 (外3名)

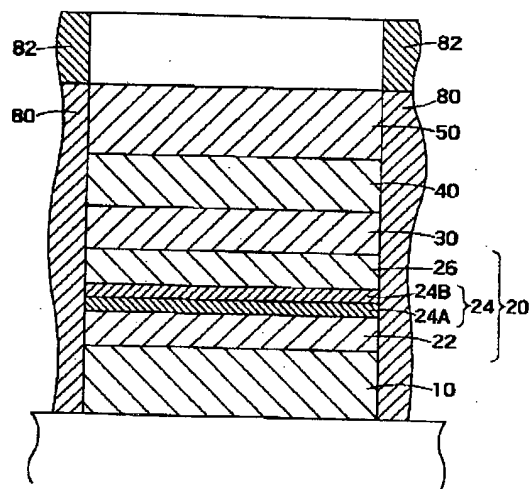
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果素子及び磁気記録装置

(57) 【要約】

【課題】 スペキュラースピンバルブ膜の大きなMR変化率を維持したうえで、良好な磁化固着膜のバイアス特性と両立させるとともに、軟磁気特性を改善した磁気抵抗効果素子を具備する磁気ヘッド及び磁気記録装置を提供することを目的とする。

【解決手段】 磁化固着層と、フリー層と、これらの間に設けられた非磁性中間層と、を有し、磁化固着層が、第1の強磁性体金属層と、前記第1の強磁性体金属層の上に設けられた第1の非金属層と、前記第1の非金属層の上に設けられ前記第1の非金属層とは異なる組成を有する第2の非金属層と、前記第2の非金属層の上に設けられた第2の強磁性体金属層と、を有する磁気抵抗効果素子。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】第1の磁性層と、第2の磁性層と、前記第1の磁性層と前記第2の磁性層との間に設けられた非磁性中間層と、を有するスピナバル膜を備えた磁気抵抗効果素子であって、

前記第1の磁性層と前記第2の磁性層の少なくともいずれかは、第1の強磁性体金属層と、前記第1の強磁性体金属層の上に設けられた第1の非金属層と、前記第1の非金属層の上に設けられ前記第1の非金属層とは異なる組成を有する第2の非金属層と、前記第2の非金属層の上に設けられた第2の強磁性体金属層と、を有することを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項2】第1の磁性層と、第2の磁性層と、前記第1の磁性層と前記第2の磁性層との間に設けられた非磁性中間層と、を有するスピナバル膜を備えた磁気抵抗効果素子であって、

前記第1の磁性層と前記第2の磁性層の少なくともいずれかは、第1の強磁性体金属層と、前記第1の強磁性体金属層の上に設けられ前記第1の強磁性体金属層とは異なる組成を有する第2の強磁性体金属層と、前記第2の強磁性体金属層の上に設けられた非金属層と、前記非金属層の上に設けられた第3の強磁性体金属層と、を有することを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項3】第1の磁性層と、第2の磁性層と、前記第1の磁性層と前記第2の磁性層との間に設けられた非磁性中間層と、を有するスピナバル膜を備えた磁気抵抗効果素子であって、

前記第1の磁性層と前記第2の磁性層の少なくともいずれかは、第1の強磁性体金属層と、前記第1の強磁性体金属層の上に設けられた第1の非金属層と、前記第1の非金属層の上に設けられた第2の強磁性体金属層と、前記第2の強磁性体金属層の上に設けられた第2の非金属層と、前記第2の非金属層の上に設けられた第3の強磁性体金属層と、を有することを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項4】第1の磁性層と、第2の磁性層と、前記第1の磁性層と前記第2の磁性層との間に設けられた非磁性中間層と、を有するスピナバル膜を備えた磁気抵抗効果素子であって、

前記第1の磁性層と前記第2の磁性層の少なくともいずれかは、リチウム(Li)、ベリリウム(Be)、ナトリウム(Na)、マグネシウム(Mg)、アルミニウム(Al)、シリコン(Si)、りん(P)、カリウム(K)、カルシウム(Ca)、スカンジウム(Sc)、ガリウム(Ga)、ルビジウム(Rb)、ストロンチウム(Sr)、イットリウム(Y)、セシウム(Cs)、バリウム(Ba)及びランタン系列に属する元素からなる群から選択された少なくともいずれかの元素を1%以上含有した第1の強磁性体金属層と、前記強磁性体金属層の上に形成された非金属層と、前記非金属層の上に形

成された第2の強磁性体金属層と、を有することを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項5】前記第1の強磁性体金属層は、アルミニウム(Al)、シリコン(Si)及びランタン系列に属する元素からなる群から選択された少なくともいずれかの元素を1%以上含有したことを特徴とする請求項4記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項6】第1の磁性層と、第2の磁性層と、前記第1の磁性層と前記第2の磁性層との間に設けられた非磁性中間層と、を有するスピナバル膜を備えた磁気抵抗効果素子であって、

前記第1の磁性層と前記第2の磁性層の少なくともいずれかは、第1の強磁性体金属層と、前記第1の強磁性体金属層の上に設けられた非金属層と、前記非金属層の上に設けられた第2の強磁性体金属層と、を有し、前記非金属層は、反強磁性体であり、且つ、その膜厚をT、その磁気的周期をP、整数をnとした時に、式 $P \times (n + 0.3) \leq T \leq P \times (n + 0.7)$ が満足されることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項7】第1の磁性層と、第2の磁性層と、前記第1の磁性層と前記第2の磁性層との間に設けられた非磁性中間層と、を有するスピナバル膜を備えた磁気抵抗効果素子であって、

前記第1の磁性層と前記第2の磁性層の少なくともいずれかは、第1の強磁性体金属層と、前記第1の強磁性体金属層の上に設けられた非金属層と、前記非金属層の上に設けられた第2の強磁性体金属層と、を有し、前記非金属層は、反強磁性体であり、且つ、その膜厚をT、その磁気的周期をP、整数をnとした時に、式 $P \times (n - 0.2) \leq T \leq P \times (n + 0.2)$ が満足されることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項8】磁気記録媒体に対して情報を再生する磁気ヘッドを備えた磁気記録装置であって、前記磁気ヘッドは、請求項1～7のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子を有することを特徴とする磁気記録装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁気抵抗効果素子及び磁気記録装置に関し、より詳細には、本発明は、スピナバル膜を用いた磁気抵抗効果素子及びこの磁気抵抗効果素子を磁気ヘッドに搭載した磁気記録装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】一般に、磁気記録媒体に記録された情報の読み出しは、コイルを有する再生用磁気ヘッドを記録媒体に対して相対的に移動させ、そのときに発生する電磁誘導でコイルに誘起される電圧を検出する方法によって行われてきた。一方、情報を読み出す場合に、磁気抵抗効果素子(以下、「MR」素子と呼ぶ)を用いること

も知られている。(IEEE MAG-7, 150 (1971) 等参照)。MR素子を用いた磁気ヘッド(以下、「MRヘッド」と呼ぶ)は、ある種の強磁性体の電気抵抗が外部磁界の強さに応じて変化するという現象を利用したものである。

【0003】近年、磁気記録媒体の小型化・大容量化が進められ、情報読み出し時の再生磁気信号が極めて微弱になってきており、より高感度に大きな出力が取り出せるMRヘッドへの期待が高まっている。とくに、強磁性体/非磁性体/強磁性体のサンドイッチ構造の積層膜で、大きな磁気抵抗効果が得られている。すなわち、非磁性層を挟んだ2つの強磁性層の一方に、交換バイアスを及ぼして磁化を固定しておき、他方の強磁性体を外部磁界(信号磁界等)により磁化反転させる。これにより、非磁性層を挟んで配置された2つの強磁性層の磁化方向の相対的な角度を変化させることによって、大きな磁気抵抗効果が得られる。この様なタイプの多層膜はスピバルブ膜と呼ばれている(Phys. Rev. B., Vol. 45, p806 (1992), J. Appl. Phys., Vol. 69, p4774 (1991) 等参照)。

【0004】スピバルブ膜の磁気抵抗変化率は、5~8%と大きく低磁場で磁化を変化させることが出来るため、MR素子に適している。ただし、記録密度のさらなる高密度化に対応するためには、さらに大きなMR変化率をえる必要があり、現在の2倍から3倍以上のMR変化率を得ることが望まれている。しかし、単純な金属積層タイプのスピバルブ膜では、10%以上のMR変化率を得ることは困難となっている。それに対して最近、バイアス膜として、 $\text{NiO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ などの酸化物からなる絶縁性の反強磁性体を用い、もう片方の磁性体の表面にも酸化物層を積層した、「スペキュラースピンバルブ膜」が注目を集めている。スペキュラースピンバルブ膜では、磁性体/非磁性体/磁性体のサンドイッチ膜をさらに絶縁体で挟み込むことにより、金属/絶縁体界面で電子を鏡面反射させ、約20%程度の大きな磁気抵抗効果が得られることが知られている。スペキュラースピンバルブ膜では、磁性体/非磁性体/磁性体サンドイッチ膜の両側を酸化物層で挟む必要があるが、同時に、少なくとも片方の磁性体に接して磁化を固着するためのバイアス膜を積層する必要がある。そのため、現在では $\text{NiO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ などの酸化物反強磁性体がいわれているが、現在のところ、十分に良好なバイアス特性を持った酸化物反強磁性体は知られておらず、実用化のネックになっている。すなわち十分に大きな交換バイアス磁場と十分に高いブロッキング温度を持った絶縁性の反強磁性体がないため、スペキュラースピンバルブ膜を実用材料として使用することが困難になっている。

【0005】これに対して、最近、磁性体層の中に極薄の酸化物を挿入することによって、金属反強磁性体を用いながらスペキュラー効果を得る方法が提案されている。この方法を用いれば、大きな交換バイアス磁場と十

分に高いブロッキング温度を持った金属反強磁性体を用いながら大きなMR効果を得ることが可能になる。しかし、この場合極薄の酸化物層を精度良く作成することが重要であり、十分な再現性をもって良好な酸化物層を作成する必要がある。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】本発明はこのような課題に鑑みてなされたものである。すなわち、その目的は、スペキュラースピンバルブ膜の大きなMR変化率を維持したうえで、良好な磁化固着膜のバイアス特性と両立させるとともに、軟磁気特性を改善した磁気抵抗効果素子を具備する磁気ヘッド及び磁気記録装置を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明の磁気抵抗効果素子は、第1の磁性層と、第2の磁性層と、前記第1の磁性層と前記第2の磁性層との間に設けられた非磁性中間層と、を有するスピバルブ膜を備えた磁気抵抗効果素子であって、前記第1の磁性層と前記第2の磁性層の少なくともいずれかは、第1の強磁性体金属層と、前記第1の強磁性体金属層の上に設けられた第1の非金属層と、前記第1の非金属層の上に設けられ前記第1の非金属層とは異なる組成を有する第2の非金属層と、前記第2の非金属層の上に設けられた第2の強磁性体金属層と、を有することを特徴とし、電子を鏡面反射させる非金属層を極めて薄く且つ再現性良く形成することできる。

【0008】または、本発明の磁気抵抗効果素子は、第1の磁性層と、第2の磁性層と、前記第1の磁性層と前記第2の磁性層との間に設けられた非磁性中間層と、を有するスピバルブ膜を備えた磁気抵抗効果素子であって、前記第1の磁性層と前記第2の磁性層の少なくともいずれかは、第1の強磁性体金属層と、前記第1の強磁性体金属層の上に設けられ前記第1の強磁性体金属層とは異なる組成を有する第2の強磁性体金属層と、前記第2の強磁性体金属層の上に設けられた非金属層と、前記非金属層の上に設けられた第3の強磁性体金属層と、を有することを特徴とし、電子を鏡面反射させる非金属層を極めて薄く且つ再現性良く形成することできる。

【0009】または、本発明の磁気抵抗効果素子は、第1の磁性層と、第2の磁性層と、前記第1の磁性層と前記第2の磁性層との間に設けられた非磁性中間層と、を有するスピバルブ膜を備えた磁気抵抗効果素子であって、前記第1の磁性層と前記第2の磁性層の少なくともいずれかは、第1の強磁性体金属層と、前記第1の強磁性体金属層の上に設けられた第1の非金属層と、前記第1の非金属層の上に設けられた第2の強磁性体金属層と、前記第2の強磁性体金属層の上に設けられた第2の非金属層と、前記第2の非金属層の上に設けられた第3の強磁性体金属層と、を有することを特徴とし、電子の

鏡面反射を極めて効果的に生じさせることができる。

【0010】または、本発明の磁気抵抗効果素子は、第1の磁性層と、第2の磁性層と、前記第1の磁性層と前記第2の磁性層との間に設けられた非磁性中間層と、を有するスピバルブ膜を備えた磁気抵抗効果素子であって、前記第1の磁性層と前記第2の磁性層の少なくともいずれかは、リチウム(Li)、ベリリウム(Be)、ナトリウム(Na)、マグネシウム(Mg)、アルミニウム(Al)、シリコン(Si)、りん(P)、カリウム(K)、カルシウム(Ca)、スカンジウム(Sc)、ガリウム(Ga)、ルビジウム(Rb)、ストロンチウム(Sr)、イットリウム(Y)、セシウム(Cs)、バリウム(Ba)及びランタン系列に属する元素からなる群から選択された少なくともいずれかの元素を1%以上含有した第1の強磁性体金属層と、前記強磁性体金属層の上に設けられた非金属層と、前記非金属層の上に設けられた第2の強磁性体金属層と、を有することを特徴とし、電子を鏡面反射させる非金属層を極めて薄く且つ再現性良く形成することできる。

【0011】特に、前記第1の強磁性体金属層は、アルミニウム(Al)、シリコン(Si)及びランタン系列に属する元素からなる群から選択された少なくともいずれかの元素を1%以上含有したものであることが望ましい。

【0012】または、本発明の第5の磁気抵抗効果素子は、第1の磁性層と、第2の磁性層と、前記第1の磁性層と前記第2の磁性層との間に設けられた非磁性中間層と、を有するスピバルブ膜を備えた磁気抵抗効果素子であって、前記第1の磁性層と前記第2の磁性層の少なくともいずれかは、第1の強磁性体金属層と、前記第1の強磁性体金属層の上に設けられた非金属層と、前記非金属層の上に設けられた第2の強磁性体金属層と、を有し、前記非金属層は、反強磁性体であり、且つ、その膜厚をT、その磁気的周期をP、整数をnとした時に、式  $P \times (n + 0.3) \leq T \leq P \times (n + 0.7)$  が満足されることを特徴とし、シンセティック反強磁性体を形成してさらに高性能化することができる。

【0013】ここで、前記非金属層の厚さは、例えば、NiOの(111)配向膜のように、Ni原子層/酸素原子層/ニッケル原子層/酸素原子層/ニッケル原子層という積層構造を持つ場合には、一番界面に近い酸素原子層の強磁性金属層側に接している金属原子層の中心位置から、中心位置までの距離で定義する。また、より複雑な結晶構造を持った非金属層の場合も、一番界面に近い酸素原子層の金属層側に接している金属原子層の中心位置から、中心位置までの距離で定義する。

【0014】または、本発明の第6の磁気抵抗効果素子は、第1の磁性層と、第2の磁性層と、前記第1の磁性層と前記第2の磁性層との間に設けられた非磁性中間層と、を有するスピバルブ膜を備えた磁気抵抗効果素子

であって、前記第1の磁性層と前記第2の磁性層の少なくともいずれかは、第1の強磁性体金属層と、前記第1の強磁性体金属層の上に設けられた非金属層と、前記非金属層の上に設けられた第2の強磁性体金属層と、を有し、前記非金属層は、反強磁性体であり、且つ、その膜厚をT、その磁気的周期をP、整数をnとした時に、式  $P \times (n - 0.2) \leq T \leq P \times (n + 0.2)$  が満足されることを特徴とし、安定な強磁性的結合を得ることができる。

【0015】一方、本発明の磁気記録装置は、磁気記録媒体に対して情報を記録または再生する磁気ヘッドを備えた磁気記録装置であって、前記磁気ヘッドは、前述したいずれかの磁気抵抗効果素子を有することを特徴とし、大きな再生信号出力と、良好な熱安定性を実現させることができる。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しつつ本発明の実施の形態について説明する。図1は、本発明の第1の実施の形態にかかる磁気抵抗効果素子の断面構造を表す概念図である。すなわち、本発明の磁気抵抗効果素子は、所定の基板の上に、反強磁性層10、第1の磁性層20、非磁性中間層30、第2の磁性層40、及び非金属層50がこの順に積層された構造を有する。

【0017】さらに、この積層構造の両側には、硬磁性膜80、80が設けられ、それぞれの硬磁性膜の上には、電極82、82が設けられている。

【0018】本具体例においては、第1の磁性層20は、磁化が固定され一方異法性によるバイアスがかけられた「磁化固着層」として作用する。また、第2の磁性層40は、図示しない磁気記録媒体などから発生される外部磁場(例えば信号磁界など)により磁化反転される「磁場感受層」あるいは「フリー層」として作用する。

【0019】「磁化固着層」である第1の磁性層20は、強磁性体金属層22と非金属層24と強磁性層金属層26をこの順に積層した構造を有する。さらに、本実施形態においては、非金属層24が、第1の非金属層24Aと第2の非金属層24Bとを積層した構造を有する。

【0020】本発明の磁気抵抗効果素子においては、電極82、82を介して図1に向かって左右方向にバイアス電圧を印加して磁気抵抗の変化を測定することにより、第2の磁性層40に印加される磁場強度を検出することができる。この時に、バイアス電圧により生ずる電流は、主に第2の強磁性体金属層26、非磁性中間層30、及び第2の磁性層40において面内方向に流れる。

【0021】ここで、磁気抵抗効果をより顕著に得るためには、バイアス電圧の印加に伴って面内方向に流れる電子の運動量の損失を低減する必要がある。本発明によれば、まず、第2の磁性層40の上に非金属層50を設

けることにより、これらの層の間で電子の鏡面反射を生じさせることができる。この結果として、電子の運動量の損失を低減することができる。

【0022】さらに、本発明によれば、第1の磁性層20の中間に非金属層24を設けることにより、第2の強磁性体金属層26と非金属層24との界面においても電子の鏡面反射を生じさせることができる。つまり、反強磁性層10の材料として、NiMn, PtMn, IrMnなどの金属性の反強磁性体を用いた場合には、反強磁性層10と第1の磁性層20との間において電子の鏡面反射を生じさせることは困難であり電子の運動量の損失が生ずるのに対して、本発明によれば、金属性の反強磁性体を用いながら電流経路の上下いずれの磁性層の界面においても電子反射を起こすことができる。

【0023】その結果として、電子の運動量の損失を極小化させ、反強磁性体を用いつつ、良好なバイアス磁場特性を実現することができる。さらに、250℃以上の高いブロッキング温度を保ちつつ、MR変化率として15%以上の大きな値を得ることが可能になる。

【0024】ここで、第1の磁性層20の中間に設ける非金属層24は、その層厚が厚すぎるとその上下の強磁性体金属層22と26との磁気的なカップリングを妨害し、良好な磁化固着特性を得ることができないという問題を生ずる。一方、非金属層24の層厚が薄すぎると、均一で連続的な薄膜の形成が困難となり、電子の鏡面反射を十分に生じさせることができない。つまり、非金属層24として、極めて薄く且つ均一な薄膜を再現性良く形成する必要が生ずる。

【0025】一般に、極薄の非金属層を形成する場合には、まず非金属層を形成するための下地の金属層を形成し、その表面を酸素(O)、窒素(N)、あるいはフッ素(F)などを含有した気体、もしくはそのプラズマなどの雰囲気中に曝して反応させることにより、形成することが望ましい。ただし、この場合に反応が進みすぎると、非金属層の厚さが厚くなりすぎため、非金属層で磁気カップリングが切れてしまい、良好な磁化固着特性を得ることが難しくなってしまう。この為、再現性良く反応の進行を制御する必要があるが、従来の構成では反応の精密な制御は容易でなかった。

【0026】これに対して、本実施形態によれば、非金属層24を第1の第1の非金属層24Aと第2の非金属層24Bとの積層構造とすることにより、非金属層24の全体の層厚を再現性良く薄く形成することが可能となる。すなわち、本実施形態では、非金属層24を形成するための材料として2種以上の材料の積層構成を用いる。第1の非金属層24Aの材料としては、酸化や窒化などの反応に対してより耐性の強い材料を用いる。また、第2の非金属層24Bの材料としては、反応の後に、良好な電子反射を起こすことができる材料を用いる。

【0027】図2は、非金属層24の形成方法を概念的に表す工程断面図である。まず、図2(a)に表したように、下地層22と薄膜Xとの積層構造を用意する。ここで、下地層22は、第1の強磁性体金属層の一部を兼ねるものであり、且つ酸化や窒化あるいはフッ化に対して耐性の大きい材料からなることが望ましい。その材料としては、ニッケル(Ni)を含有したものであることが望ましく、例えば、ニッケル・鉄(NiFe)合金を用いることができる。

【0028】また、薄膜Xは、酸化、窒化またはフッ化により、良好な電子反射を起こすことができる材料からなる。その材料としては、例えば、コバルト鉄(CoFe)に、リチウム(Li)、ベリリウム(Be)、ナトリウム(Na)、マグネシウム(Mg)、アルミニウム(Al)、シリコン(Si)、りん(P)、カリウム(K)、カルシウム(Ca)、スカンジウム(Sc)、ガリウム(Ga)、ルビジウム(Rb)、ストロンチウム(Sr)、イットリウム(Y)、セシウム(Cs)、バリウム(Ba)及びランタン系列に属する元素の少なくともいずれかの元素を添加したものをを用いることができる。

【0029】また、薄膜Xの堆積は、例えば、スパッタリング、真空蒸着、CVDなどの方法により行うことができる。この際に、薄膜Xを十分に薄く堆積することは比較的容易である。

【0030】次に、図2(b)に表したように、第1の非金属層24Aと第2の非金属層24Bを形成する。具体的には、酸素(O)、窒素(N)あるいはフッ素(F)を含有した雰囲気中に曝すことにより、薄膜Xと下地22の表面を反応させる。この際に、薄膜Xは、反応性が比較的高いために全体が反応し、第2の非金属層24Bが形成される。しかし、その下の下地層22は反応の耐性が大きい材料を含有するため、反応の進行が阻止され、極薄の非金属層24Aが形成される。つまり、非金属層24の全体の膜厚は、薄膜Xの膜厚により実質的に決定される。このため、極薄且つ均一な非金属層24を再現性良く形成することができる。

【0031】本発明によれば、下地が反応に対するストッパ層として作用し、極薄且つ均一な非金属層を再現性よく形成することができる。その結果として、電子の鏡面反射を生じさせつつ、第1の強磁性体金属層22と第2の強磁性体金属層26との磁気的なカップリングを確保して良好な磁化固着特性を得ることができる。

【0032】また、図1乃至図2においては、非金属層24が2種類の非金属層からなる場合を例示したが、本発明はこれに限定されるものではない。すなわち、非金属層24の構造として、3種類あるいはそれ以上の非金属層からなる積層構造を採用しても良い。このような場合においても、上側に電子の鏡面反射を確保する層を設け、下側に過度の反応を阻止する役割を有する層を設け

ることにより、同様の効果を得ることができる。

【0033】以下に、本実施形態にかかる磁気抵抗効果素子を構成する各層の構成についてさらに詳細に説明する。

【0034】まず、非金属層24の材料としては、酸化物、窒化物、あるいはフッ化物などを用いることができる。これらのうちで、非磁性材料（室温でスピンの強磁性磁化配列も、反強磁性配列もしない材料）を用いる場合は、非金属層24のトータル厚さは3 nm以下とすることが望ましい。これは、非金属層24の厚さがこれ以上に厚くなると非金属層24を挟んだ両側の強磁性体金属層22、26の間での磁気的結合力が小さくなり、非磁性中間層30に接した強磁性体金属層26の磁化の固着が困難になるためである。また、より良好な磁化固着を得るためには、非金属層24の合計厚さを2 nm以下とすることがより望ましい。

【0035】非金属層24の材料として反強磁性体、もしくは強磁性体を用いる場合には、非金属層24を介して上下の磁性層22、26を磁氣的に固着出来る。従って、非金属層24の合計の膜厚が5 nm以下であれば十分に非磁性中間層30に接した強磁性体金属層26の磁化を固着することが可能である。ただし、より強固な磁性的結合を得るためには、非金属層24の合計の厚さは3 nm以下であることが望ましい。

【0036】特に、強磁性体を用いることより大きなMR変化率と層間結合を得ることができる。

【0037】また、非金属層24の材料が反強磁性体である場合には、動作環境温度を考えるとネール温度が250℃以上であることが望ましく、300℃以上であることがより望ましい。これは、ネール温度が低いと、上下の強磁性体層22、26の結合の熱的安定性が劣化するためである。

【0038】ただし、本発明においては、電子を鏡面反射させる非金属層24を両側から強磁性体22、26で挟むため、強磁性体からの分子磁界によってバルク値よりもネール温度が上昇する。このため、電子反射層となる非金属層24の両側は、キュリー点の高いFe（鉄）系またはCo（コバルト）系合金によってサンドイッチすることが望ましい。この方法によって、NiO（酸化ニッケル）のような材料においても、組成を適宜調整することによって十分に高いネール点を確保することが出来る。

【0039】一方、非金属層24の材料が強磁性体である場合には、動作環境温度を考えるとキュリー温度が100℃以上であることが望ましく、200℃以上であることがさらに望ましい。この場合も、電子反射層となる非金属層24を両側から強磁性体層22、26で挟むため、強磁性体からの分子磁界によってバルク値よりもキュリー点は上昇する。このため、非金属層24の両側はキュリー点の高いFe系またはCo系合金でサンド

イッチすることが望ましい。この方法によって、例えばペロブスカイト系のような材料においても、組成を適宜調整することによって十分に高いキュリー点を確保することが出来る。また、フェライト系のような材料においても、さらに十分なキュリー点を確保することが出来る。

【0040】一方、上下の強磁性体金属層22、26の磁氣的な結合の形態は、磁化が平行になるように結合していてもよく、磁化が反平行に結合していてもよい。また、磁化が略90度の角度をなして結合していてもよい。または、それ以外の角度をなしていても問題はない。結合の強さは、400 Oeの外部磁場で10度以内の角度変化となることが望ましい。

【0041】上下磁性層の結合を平行にするためには、非金属層24の材料として強磁性体、もしくはフェリ磁性体を用いることが望ましい。ただし、反強磁性体を用いることもできる。その場合には、NiOのように原子のスタック（積層）に対して各原子層の磁化が反平行に配列するような絶縁体を用いることが望ましい。その場合に、磁性原子層の数が偶数に近くなるように非金属層24の膜厚を設定することが望ましい。

【0042】すなわち、非金属層24の材料としては、強磁性体であり、且つ、その膜厚をT、その時期的周期をP、整数をnとした時に、式 $P \times (n - 0.2) \leq T \leq P \times (n + 0.2)$ が満足されるようなものを用いることが望ましい。ここで、時期的周期とは、非金属層の膜厚方向において生ずる磁化スピンの周期のことであり、例えば、磁氣的な1周期が数原子層にわたってスパイラル状に変化するような場合も含む。

【0043】具体的には、例えば、NiO（酸化ニッケル）のように、原子スタックに対して各原子層の磁化が反平行に配列している絶縁体を用いることができる。NiOの(111)配向膜はNi原子層/酸素原子層/ニッケル原子層/酸素原子層/ニッケル原子層という積層構造を持っている。この場合の時期的周期は、酸素原子層/ニッケル原子層/酸素原子層/ニッケル原子層である。従って、非金属層の膜厚方向にみた酸素原子層の数が偶数に近くなるように、非金属層24の膜厚を設定することが望ましい。但し、トータルとしての磁氣的結合が平行であればよいので、必ずしもびったりと偶数である必要はない。

【0044】ここで、前記非金属層の厚さは、一番界面に近い酸素原子層の強磁性金属層側に接している金属原子層の中心位置から、中心位置までの距離で定義する。また、より複雑な結晶構造を持った非金属層の場合も、一番界面に近い酸素原子層の金属層側に接している金属原子層の中心地位から、中心位置までの距離で定義する。また、より複雑な結晶構造を有する酸化物の場合においても、上記定義は同様に適用することができる。

【0045】上下の強磁性体金属層22、26の結合を

反平行にするためには、非金属層24の材料として、反強磁性体であり、且つ、その膜厚を $T$ 、その磁気的周期を $P$ 、整数を $n$ とした時に、式 $P \times (n+0.3) \leq T \leq P \times (n+0.7)$ が満足されるようなものを用いることが望ましい。ここで、「磁気的周期」とは、非金属層の膜厚方向において生ずる磁化スピンの周期のことであり、例えば、磁気的な1周期が数原子層に渡ってスパイラル状に変化するような場合も含む。

【0046】具体的には、例えば、 $\text{NiO}$ （酸化ニッケル）のように、原子スタックに対して各原子層の磁化が反平行に配列している絶縁体を用いることができる。この場合の「磁気的周期」は、酸素原子層／ニッケル原子層／酸素原子層／ニッケル原子層である。従って、非金属層の膜厚方向にみた原子層の数が奇数に近くなるように非金属層24の膜厚を設定することが望ましい。但し、トータルとしての磁気結合が反平行であればよいため、からなずしもびったりと奇数である必要はない。

【0047】また、フェリ磁性体を用いる場合も、強磁性体と電子反射層となる非金属層24との界面での電子反射層の磁性サイトが一方のスピンスイトが多くなるような面を選び、その上側界面と下側界面とでその方向が反平行となるよう、膜厚を選択することが望ましい。

【0048】また、非金属層24は、アモルファス（非晶質）状態であってもよいが、微結晶状態または多結晶状態であることが望ましく、磁性体層とエピタキシャル関係にあることがさらに望ましい。特に、上下磁性層22、26の結合を強くし、かつ電子反射係数を増大させるためには、エピタキシャル関係にあることが望ましい。

【0049】また、非金属層24は、完全に連続的な薄膜の状態であってもよいが、ピンホールがあいていてもよい。ピンホールが開いていると、その穴を通して上下磁性層22、26が磁気的に結合することが可能になるため、強い磁気結合を得ることが出来る。ただし、あまりピンホールの存在が多いと電子反射効果が小さくなるため、ピンホールの割合は面積にして全体の50%以下であることが望ましい。さらに電子反射効果を上昇させるためには、ピンホールの割合は20%以下であることが望ましく、10%以下であることがさらに望ましい。

【0050】また、電子を鏡面反射する界面すなわち、第2の非金属層24Bと強磁性体金属層26との界面の平均の凹凸は2nm以上あってもよいが、2nm以下であることがより望ましい。界面の凹凸が2nm以上であると、電子反射係数が劣化するためにMR変化率は減少してしまう。図1に例示したように、反強磁性層10を下側に設けた場合にはスピナル膜の平滑性が上昇し、表面、もしくは界面の凹凸が減少するため、より大きな電子反射効果を得ることができる。この場合に界面の凹凸をさらに減少させるために、反強磁性層10の下地としては、タンタル（Ta）、チタン（Ti）、クロ

ム（Cr）、アルミニウム（Al）などを用いることができる。

【0051】また、基板との濡れ性を向上させる下地層を設け、さらに、その上に銅（Cu）、金（Au）、銀（Ag）のような結晶配向性を向上させる材料を積層した上に反強磁性層10を堆積しても良い。このとき下地と、その上に積層される金属層との格子定数の差は、5%以内とすることが望ましい。このことによって、全体の平滑性と配向性を向上させることが可能となり、電子反射係数が上昇し、より大きなMR効果を得ることができる。

【0052】電子反射層としての非金属層24は、必ずしも配向している必要はないが、より望ましくは最密面配向している方がよい。電子反射層を最密面に配向させることにより、より大きな電子反射率を得ることが可能となる。また、その上に積層する強磁性体金属層26の膜質が向上し、図1のような反強磁性層10を下側に設けた構造では、軟磁気特性を向上させることも可能である。

【0053】強磁性体金属層22、26、あるいは第2の磁性層40の材料としては、ニッケル（Ni）、コバルト（Co）、鉄（Fe）などの磁性体を用いることができるが、 $\text{NiFe}$ 、 $\text{CoFe}$ などのような2元系磁性合金でも良い。特に大きなMR変化率と良好な軟磁気特性を得るためには、コバルト（Co）を含んだ磁性合金を用いることが望ましい。コバルト系合金を用いることにより大きなスピン依存散乱と、良好な電子反射効果とを得ることが可能となり、大きなMR効果を得ることができる。また、同様に3元以上の磁性体合金を用いても良い。

【0054】また、強磁性体金属層22、26の材料は、必ずしも同一である必要はなく、一方が $\text{NiFe}$ で、他方が $\text{CoFe}$ というように変えてもよい。この場合には、非磁性中間層30に接していない強磁性体金属層22の抵抗が高い方がシャントの効果を低減することができるため、強磁性体金属層22には、クロム（Cr）、タンタル（Ta）、チタン（Ti）、バナジウム（V）、タングステン（W）、ロジウム（Rh）、ルテニウム（Ru）などの高抵抗化添加物を添加することが望ましい。

【0055】特に、図1に例示した構造において、第1の強磁性体金属層22を2層構造とし、その下側の層を、磁気固着層として実質的に作用する層、上側の層を反応を阻止する層として作用させることができる。この場合の下側の層の材料としては、MR変化量に影響を及ぼすバルク効果が大きいものが望ましい。具体的には、例えば、コバルト（Co）系磁性合金を挙げることができる。一方、この場合の上側の層の材料としては、前述したように、ニッケル系の磁性合金とすることができ、その層



厚は反応を阻止することができる範囲で薄く形成することが望ましい。

【0056】さらに、これらの磁性層22、26、40は、それぞれ2層以上の磁性体と非磁性体の積層構造となっても良い。例えば、CoFe/Cuのような2層構造とされていても良い。または、CoFe/Ru/CoFeのような3層構造とされていても良く、または、4層以上の積層構造であっても良い。

【0057】また、これらの磁性層は、必ずしも配向している必要はないが、最密面配向していることが望ましく、結晶格子の構造がfccの磁性体では(111)面配向していることが望ましく、bcc構造の磁性体では(100)面配向していることが望ましく、hcp構造の磁性体では、c面が面内配向していることが望ましい。

【0058】次に、本発明の第2の実施の形態について説明する。図3は、本発明の第2の実施の形態にかかる磁気抵抗効果素子の断面構造を表す概念図である。すなわち、本実施形態の磁気抵抗効果素子も、所定の基板の上に、反強磁性層10、第1の磁性層20、非磁性中間層30、第2の磁性層40、及び非金属層50がこの順に積層された構造を有する。各層の具体的な構成や役割は、図1乃至図2に関して前述したものと概略同様とすることができるので、同一の部分には同一の符号を付して詳細な説明は省略する。

【0059】また、図1に例示した硬磁性膜80、80と電極82、82は、図3においては簡単のために省略した。

【0060】本実施形態においては、第1の強磁性体金属層22が、2種以上の強磁性体の積層構造からなることを特徴としている。すなわち、図3に表した具体例においては、第1の強磁性体金属層22は、第1の層22Aと第2の層22Bとを積層した構造を有する。

【0061】第1の層22Aは、磁気固着層として実質的に作用し、その材料としては、大きな方向異方性を得られるものが望ましい。具体的には、例えば、コバルト(Co)系磁性合金を挙げることができ、コバルトに、鉄(Fe)、ニッケル(Ni)、金(Au)、銀(Ag)、銅(Cu)、パラジウム(Pd)、白金(Pt)、イリジウム(Ir)、ロジウム(Rh)、ルテニウム(Ru)、オスmium(Os)、ハフニウム(Hf)などの元素のいずれか1種あるいは2種以上を添加した合金を挙げることができる。

【0062】第2の層22Bは、磁気固着層として作用しうる強磁性特性を有するとともに、非金属層24の形成の際の酸化、窒化またはフッ化反応に対する耐性が高い材料からなる。つまり、第1実施形態に関して前述したように、非金属層24を反応により形成させる際に、第2の層22Bの表面層が反応して非金属層24が形成されるが、この際に過度の反応を阻止して、全体として

極薄且つ均一な非金属層24を再現性良く得ることができる。第2の層22Bの材料としては、例えば、ニッケル(Ni)系の合金を挙げることができる。

【0063】本実施形態によれば、第1実施形態に関して前述した種々の効果が同様に得られ、さらに、第1の強磁性体金属層22において、バルク効果が高い第1の層22Aを設けることにより、磁化固着特性を改善してより大きな方向異方性磁界を得ることができる。

【0064】次に、本発明の第3の実施の形態について説明する。図4は、本発明の第3の実施の形態にかかる磁気抵抗効果素子の断面構造を表す概念図である。すなわち、本実施形態の磁気抵抗効果素子も、所定の基板の上に、反強磁性層10、第1の磁性層20、非磁性中間層30、第2の磁性層40、及び非金属層50がこの順に積層された構造を有する。各層の具体的な構成や役割は、図1乃至図2に関して前述したものと概略同様とすることができるので、同一の部分には同一の符号を付して詳細な説明は省略する。

【0065】また、図1に例示した硬磁性膜80、80と電極82、82は、図4においては簡単のために省略した。

【0066】本実施形態においては、第1の磁性層20が、少なくとも2層の非金属層と少なくとも3層の強磁性体金属層とを交互に積層させた構造を有する。すなわち、図4に表した具体例においては、第1の磁性層20は、強磁性体金属からなる第1の層22A、第1の非金属層24A、強磁性体金属からなる第2の層22B、第2の非金属層24B及び、強磁性体金属からなる第3の層26をこの順に積層した構造を有する。

【0067】磁化固着特性を確保するためには、強磁性体金属からなる各層、すなわち第1～第3の層22A、22B、及び26の磁気的なカップリングを維持する必要がある。このためには、これらの間に介在させる非金属層24A及び24Bの膜厚を薄くする必要があるが、あまりに薄く形成すると、ピンホールなどが生じやすく、電子の鏡面反射の効率が低下する。

【0068】これに対して、本実施形態によれば、非金属層24Aと24Bとを別個に設けることにより、強磁性体層との界面が増え、電子が鏡面反射される確率が倍増させることができる。つまり、本実施形態によれば、複数の非金属層を強磁性体からなる層の間に別個に介在させることにより、ピンホールなどが存在しうるような極薄の非金属層を用いて強磁性体層の間の磁気的なカップリングを確保しつつ、電子の鏡面反射の効率を倍増させることができる。その結果として、磁気固着特性を維持しつつ、電子の運動量の損失を大幅に低減して大きなMR特性を実現することができる。

【0069】次に、本発明の第4の実施の形態について説明する。図5は、本発明の第4の実施の形態にかかる磁気抵抗効果素子の断面構造を表す概念図である。すな

わち、本実施形態の磁気抵抗効果素子も、反強磁性層10、第1の磁性層20、非磁性中間層30、第2の磁性層40、及び非金属層50がこの順に積層された構造を有する。各層の具体的な構成や役割は、図1乃至図2に関して前述したものと概略同様とすることができるので、同一の部分には同一の符号を付して詳細な説明は省略する。

【0070】また、図1に例示した硬磁性膜80、80と電極82、82は、図5においては簡単のために省略した。

【0071】本実施形態においては、第1の磁性層20が、少なくとも1層の非金属層を中間に有し、この非金属層に接して設けられた強磁性体金属層が、リチウム(Li)、ベリリウム(Be)、ナトリウム(Na)、マグネシウム(Mg)、アルミニウム(Al)、シリコン(Si)、りん(P)、カリウム(K)、カルシウム(Ca)、スカンジウム(Sc)、ガリウム(Ga)、ルビジウム(Rb)、ストロンチウム(Sr)、イットリウム(Y)、セシウム(Cs)、バリウム(Ba)及びランタン系列に属する元素の少なくともいずれかを1%以上含有することを特徴としている。例えば、図5に表した具体例においては、第1の磁性層20は、第1の強磁性体金属層22'と非金属層24と第2の強磁性体金属層26とをこの順に積層してなる。そして、第1の強磁性体金属層22'は、上記したいずれかの元素を1%以上含有している。

【0072】非金属層24の形成は、第1の強磁性体金属層22'の表面を酸化、窒化、またはフッ化させることにより行う。この形成工程において、クロム、アルミニウム、またはシリコンが優先的に反応し、緻密で平滑な非金属層24を形成することができる。その結果として、良好なMR変化率を再現性良く得ることができる。

【0073】なお、図5に例示した構造の他にも、例えば、図4に例示した構造において、強磁性体金属層22A及び22Bの少なくともいずれかに、リチウム(Li)、ベリリウム(Be)、ナトリウム(Na)、マグネシウム(Mg)、アルミニウム(Al)、シリコン(Si)、りん(P)、カリウム(K)、カルシウム(Ca)、スカンジウム(Sc)、ガリウム(Ga)、ルビジウム(Rb)、ストロンチウム(Sr)、イットリウム(Y)、セシウム(Cs)、バリウム(Ba)及びランタン系列に属する元素の少なくともいずれかを1%以上含有させても同様の効果を得ることができる。

【0074】次に、本発明の第5の実施の形態について説明する。図6は、本発明の第5の実施の形態にかかる磁気抵抗効果素子の断面構造を表す概念図である。すなわち、本実施形態の磁気抵抗効果素子も、反強磁性層10、第1の磁性層20、非磁性中間層30、第2の磁性層40、及び非金属層50がこの順に積層されたスピバルブ構造を有する。各層の具体的な構成や役割は、図

1乃至図2に関して前述したものと概略同様とすることができるので、同一の部分には同一の符号を付して詳細な説明は省略する。

【0075】また、図1に例示した硬磁性膜80、80と電極82、82は、図6においては簡単のために省略した。

【0076】本実施形態においても、第1の磁性層20は、強磁性体金属層22と非金属層24'と強磁性体金属層26とを積層した構造を有する。そして、非金属層24'は、反強磁性体であり、且つ、その膜厚をT、その磁気的周期をP、整数をnとした時に、式 $P \times (n + 0.3) \leq T \leq P \times (n + 0.7)$ の範囲内とする。

【0077】このような構成とすることにより、非金属層24'を挟んだ上下の強磁性体金属層22、26の磁気的な結合を反平行とすることができる。すなわち、非金属層24'の原子面の数を上記のように制御すると、第1の磁性層20をいわゆる「シンセティック反強磁性構造」とすることができる。そして、このように、上下の磁性層22、26の磁化が打ち消しあうため、磁化固着層すなわち第1の磁性層20がフリー層すなわち第2の磁性層40に与える静磁場を十分に小さくすることができる。磁化固着層すなわち第1の磁性層20からの静磁場による動作点のシフトは、実際の磁気ヘッドを製作する上での大きな問題となっているが、本実施形態によれば、第1の磁性層20をシンセティック反強磁性体とすることにより、この問題を解消することができる。

【0078】また、いわゆるスペキュラースピンバルブでは、フリー層の膜厚を薄くすることにより、より大きなMR変化率を得ることが可能となるが、フリー層を単純に薄くすると、前述したように静磁場の影響により動作点がシフトするという問題が生ずる。これに対して、本実施形態によれば、第1の磁性層20をシンセティック反強磁性体とすることよりフリー層を十分に薄くすることが可能となり、スペキュラ効果をより有効に利用することができる。

【0079】非金属層24'の具体例としては、例えば、ニッケル(Ni)を含有した酸化物を挙げることができる。例えば、酸化ニッケルを最密面配向させた薄膜を形成する場合には、ニッケルが含有された原子層と酸素が主体となる原子層とが交互に積層される。本実施形態においては、非金属層24'の膜厚方向にみて、これらの原子層の数を合計で偶数とすることにより、その上下の強磁性体の磁化方向を反平行とすることができる。

【0080】次に、本第5実施形態の変型例について図6を参照しつつ説明する。

【0081】すなわち、本変型例の磁気抵抗効果素子も、反強磁性層10、第1の磁性層20、非磁性中間層30、第2の磁性層40、及び非金属層50がこの順に積層されたスピバルブ構造を有する。各層の具体的な構成や役割は、図1乃至図2に関して前述したものと概

略同様とすることができるので、同一の部分には同一の符号を付して詳細な説明は省略する。

【0082】本実施形態においても、第1の磁性層20は、強磁性体金属層22と非金属層24'と強磁性体金属層26とを積層した構造を有する。そして、非金属層24'は、反強磁性体であり、且つ、その膜厚をT、その磁気的周期をP、整数をnとした時に、式 $P \times (n - 0.2) \leq T \leq P \times (n + 0.2)$ の範囲内とする。

【0083】このような構成とすることにより、非金属層24'を挟んだ上下の強磁性体金属層22、26の磁気的な結合を平行とすることができる。すなわち、非金属層24'の原子面の数を上記のように制御すると、反強磁性体の磁気的結合を用いて、強磁性体22、26を強く磁気結合させることが可能となり、良好な磁気的安定性を得ることが可能となる。本変型例によれば、磁気的安定性を改善することにより、より安定な磁気抵抗効果素子を提供することができる。

【0084】非金属層24'の具体例としては、例えば、ニッケル(Ni)を含有した酸化物を挙げることができる。例えば、酸化ニッケルを最密面配向させた薄膜を形成する場合には、ニッケルが含有された原子層と酸素が主体となる原子層とが交互に積層される。本変型例においては、非金属層24'の膜厚方向にみて、これらの酸素原子層の数を合計で偶数とすることにより、その上下の強磁性体の磁化方向を平行となることかできる。NiOの場合には酸素原子層を挟んで磁化が反平行に結合するため、これは酸素原子層がほぼ偶数層だけ含まれていることに等しい。

【0085】次に、本発明の第6の実施の形態について説明する。図7は、本発明の第6の実施の形態にかかる磁気抵抗効果素子の断面構造を表す概念図である。すなわち、本実施形態の磁気抵抗効果素子も、反強磁性層10、第1の磁性層20、非磁性中間層30、第2の磁性層40、及び非金属層50を有する。各層の具体的な構成や役割は、図1乃至図2に関して前述したものと概略同様とすることができるので、同一の部分には同一の符号を付して詳細な説明は省略する。

【0086】また、図1に例示した硬磁性膜80、80と電極82、82は、図7においては簡単のために省略した。

【0087】本実施形態においては、各層の積層の順序が逆転している。すなわち、前述した第1実施形態においては、基板上に、反強磁性層10、第1の磁性層20、非磁性中間層30、第2の磁性層40、及び非金属層50の順に積層されている。これに対して、本実施形態においては積層の順序が逆であり、所定の下地層60の上に、非金属層50、第2の磁性層40、非磁性中間層30、第1の磁性層20、反強磁性層10がこの順に積層されている。

【0088】但し、本実施形態においても、第1の磁性

層20を構成する層22、24A、24B、及び26の積層の順序は、第1実施形態の場合と同様である。すなわち、非金属層24Aは、酸化、窒化あるいはフッ化反応を阻止して非金属層24の膜厚を薄く且つ均一に形成するためのストップ層としての役割を有する。但し、本実施形態においては、層24Aと強磁性体金属層22との界面において電子の鏡面反射が生ずる。

【0089】本実施形態によっても、非金属層24の膜厚を極薄く且つ均一に形成することができ、第1実施形態と同様の種々の効果を同様に得ることができる。

【0090】また、前述した第2〜第5実施形態に関して例示した各構造についても、同様に逆の順番に積層しても良い。つまり、図3〜図6に表した積層構造のそれぞれについて、非金属層50、第2の磁性層40、非磁性中間層30、第1の磁性層20、反強磁性層10の順番に積層しても良い。但し、これらの場合にも、第1の磁性層20を構成する各層の積層構造は、図3〜図6に表したものと同様とする必要がある。

【0091】このように、積層の順番を逆転させても、同様の効果を得ることができる。

【0092】以上、第1〜第6の実施の形態として、非金属層を第1の磁性層の中間に設けた構成について説明した。

【0093】一方、電子を鏡面反射する非金属層は、図8に例示したように、反強磁性層と第1の磁性層との間に設けても良い。すなわち、図8に表した例においては、所定の基板上に、反強磁性層10、非金属層24、第1の磁性層20、非磁性中間層30、第2の磁性層40、非金属層50がこの順に積層されている。同図に関しても、各層の具体的な構成や役割は、図1乃至図2に関して前述したものと概略同様とすることができるので、同一の部分には同一の符号を付して詳細な説明は省略する。また、図1に例示した硬磁性膜80、80と電極82、82も、図8においては簡単のために省略した。

【0094】図8に例示した構造においては、電子は、非金属層24と非金属層50との間で鏡面反射を繰り返して流れる。ここで、反強磁性層10の材料としては、例えば、IrMn、PtMn、NiMn、FeMn等を用いることができる。特に、反強磁性を有する金属を用いることにより、高いブロッキング温度をもち、大きな方向異方性をもつ、良好な磁化固着特性を得ることができる。

【0095】また、非金属層24の材料としては、例えば、NiO、CoO、Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等を用いることができる。特に、非金属層24の材料として、反強磁性を有する材料を選択することにより、金属反強磁性体をもつ良好な磁化固着特性を損なうことなく良好な電子反射効果を得ることができる。

【0096】図8の構成においては、良好なバイアス効

果を得るためには、電子反射層となる非金属層24は、反強磁性体であるか、または強磁性体であることが望ましい。非金属層24として、反強磁性体を用いる場合には、その膜厚を5nm以下とすることが望ましく、さらに2nm以下とすることによってさらに温度特性に優れたバイアス特性を得ることができる。

【0097】非金属層24として、強磁性体を用いる場合にも、その膜厚は5nm以下とすることが望ましく、さらに2nm以下とすることによってさらに温度特性に優れたバイアス特性を得ることができる。

【0098】一方、図9に例示したように、電子を鏡面反射する非金属層を反強磁性層の中間に設けても良い。すなわち、図9に例示した構造においては、所定の基板の上に、第1の反強磁性層10A、非金属層24、第2の反強磁性層10B、第1の磁性層20、非磁性中間層30、第2の磁性層40、非金属層50がこの順に積層されている。同図に関しても、各層の具体的な構成や役割は、図1乃至図2に関して前述したものと概略同様とすることができるので、同一の部分には同一の符号を付して詳細な説明は省略する。また、図1に例示した硬磁性膜80、80と電極82、82も、図9においては簡単のために省略した。

【0099】このように、反強磁性層10の中間に電子を鏡面反射させる非金属層24を設けることにより、反強磁性体と強磁性体とを直接積層し、ダイレクトな交換結合により、より良好な磁化固着特性を実現しつつ、鏡面反射効果によるMRの増大を得ることができる。

【0100】また、第1の反強磁性層10A及び10Bの材料としては、IrMn、PtMn、NiMn、FeMn等を用いることができる。特に、金属性の材料を用いることにより、高いブロッキング温度をもち、大きな一方向異方性をもつ、良好な磁化固着特性を得ることができる。

【0101】また、非金属層24の材料としては、例えば、NiO、CoO、Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等を用いることができる。特に、非金属層24の材料として、反強磁性を有する材料を選択することにより、金属反強磁性体をもつ良好な磁化固着特性を損なうことなく、良好な電子反射効果を得ることができる。

【0102】また、より大きなMR効果を得るためには、第2の反強磁性層10Bの膜厚をできるだけ薄くすることが望ましく、3nm以下であることが望ましい。また、第1の反強磁性層10Aについては、これよりも厚くても良いが、電流のシャント効果を抑制するためには、10nm以下であることが望ましい。さらに、十分なバイアス効果が得られる場合には、第1の反強磁性層10Aは、省略することもできる。

【0103】一方、磁化固着層を複数設けても良い。図10は、磁化固着層を上下に設けた構造を例示する概念図である。すなわち、同図に例示した構造においては、

例示したように、所定の基板の上に、バッファ層2、反強磁性層10、第1の磁性層20、非磁性中間層30、第2の磁性層40、非磁性中間層30、第1の磁性層20、反強磁性層10、保護層60がこの順に積層されている。つまり、積層構造のほぼ中央に、フリー層となる第2の磁性層40が設けられ、その上下に対称に中間層30や固着層20などが設けられている。同図に関しても、各層の具体的な構成や役割は、図1乃至図2に関して前述したものと概略同様とすることができるので、同一の部分には同一の符号を付して詳細な説明は省略する。また、図1に例示した硬磁性膜80、80と電極82、82も、図10においては簡単のために省略した。

【0104】ここで、図10に表した構造に対して、図1～図9に例示したようなそれぞれの積層構造を適用することができる。すなわち、図1～図9に関して前述したそれぞれの積層構造を第2の磁性層40を中心として上下に対称に設けることができる。

【0105】このように、フリー層となる磁性層40の上下に磁化固着層となる磁性層20を設けることにより、図1～図9に関して前述した種々の効果に加えて、やや低い反射率の場合でも大きなMR変化率を得ることができるという効果も得られる。また、フリー層が電流の流路の中心付近に配置されるため、電流磁界によってフリー層が受ける影響が少なく、動作が安定するという効果も併せて得られる。

【0106】一方、このように、フリー層の上下に磁化固着層を設けると、磁化固着層からの静磁気的結合が磁化固着層が1層の場合の2倍になる。従って、磁化固着層の内部において反平行の磁化を形成するために、いわゆる「シンセティック反強磁性構造」を用いることがより重要になる。図11は、このようなシンセティック反強磁性構造を採用した変形例を表す断面概念図である。すなわち、図11においては、磁化固着層となる第1の磁性層20が、それぞれ第1の強磁性体金属層22A、ルテニウム(Ru)層28、第2の強磁性体金属層22B、非金属層24、第3の強磁性体金属層22Cを順に積層した構造とされている。このように、ルテニウム(Ru)層28を設けると、その上下の強磁性体層の磁化方向が反平行となる。つまり、第1の強磁性体金属層22Aの磁化方向に対して、第2の強磁性体金属層22Bと第3の強磁性体金属層22Cの磁化方向が反平行となる。従って、層22Aの膜厚に対して、層22Bの膜厚と層22Cの膜厚の合計がほぼ等しくなるようにすれば、第1の磁性層20の内部において全体の磁化方向がキャンセルされ、磁化固着層からの静電的カップリングを解消することができる。

【0107】また、図11の構造においては、非金属層24を設けることによって、電子を鏡面反射させるスペキュラ効果も同時に得ることができる。つまり、電子は、フリー層すなわち第2の磁性層40の上下に設けら

れた2つの非金属層24の間において鏡面反射を受けながら流れる。このため、電子の運動量の損失が低減され、フリー層すなわち第2の磁性層40として膜厚2nm以下の磁性層でも十分な感度を確保することができ、さらに大きなMR効果を得ることができる。

【0108】また、図11の構造においては、非金属層24をルテニウム層28と第2の磁性層40との間に設けている。この理由は、ルテニウム層28は、電子を散乱する性質を有するからである。すなわち、電流の主要な経路内にルテニウム層を設けると、電子が散乱されて損失が生ずる。これに対して、図11の構成においては、非金属層24をルテニウム層28と第2の磁性層40との間に設けることにより、電流経路からルテニウム層28を外して、電子の散乱による損失を解消することができる。

【0109】次に、本発明の磁気記録装置について説明する。以上説明した各実施形態の磁気抵抗効果素子は、例えば、記録再生一体型の磁気ヘッドに組み込まれ、磁気記録装置に搭載される。

【0110】図12は、このような磁気記録装置の概略構成を例示する要部斜視図である。すなわち、本発明の磁気記録装置150は、ロータリーアクチュエータを用いた形式の装置である。同図において、磁気ディスク151は、スピンドル152に装着され、図示しない駆動装置制御部からの制御信号に応答する図示しないモータにより回転する。磁気ディスク151が浮上した状態で情報の記録再生を行うヘッドスライダ153は、薄膜状のサスペンション154の先端に取り付けられている。ここで、ヘッドスライダ153は、例えば、前述したいずれかの実施の形態にかかる磁気抵抗効果素子を磁気ヘッドの一部として搭載している。

【0111】磁気ディスク151が回転すると、ヘッドスライダ153の媒体対向面(ABS)は磁気ディスク151の表面から所定の浮上量をもって保持される。

【0112】サスペンション154は、図示しない駆動コイルを保持するボビン部などを有するアクチュエータアーム155の一端に接続されている。アクチュエータアーム155の他端には、リニアモータの一種であるボイスコイルモータ156が設けられている。ボイスコイルモータ156は、アクチュエータアーム155のボビン部に巻き上げられた図示しない駆動コイルと、このコイルを挟み込むように対向して配置された永久磁石および対向ヨークからなる磁気回路とから構成される。

【0113】アクチュエータアーム155は、固定軸157の上下2箇所に設けられた図示しないボールベアリングによって保持され、ボイスコイルモータ156により回転摺動が自在にできるようになっている。

【0114】本発明によれば、前述した各実施形態にかかる磁気抵抗効果素子を磁気ヘッドの要部として採用することにより、大きな再生出力信号と、良好な熱安定性

とを得ることができる。さらに、その結果として、再生出力の経時変化を解消することもできる。また、アセンブリの際に印加されるESD(electro-static discharge: 静電気)に対する耐性も改善され、組立の際の歩留まりも向上する。

【0115】以上の効果から、狭トラック化、低素子ハイト化が可能となり、高密度磁気記録に対応した磁気記録装置を実現することができる。

【0116】以上、本発明の実施の形態について説明した。

【0117】次に、本発明の具体的な実施例を説明する。

【0118】(実施例1) 図1及び図2を参照しつつ本発明の第1の実施例について説明する。まず、熱酸化シリコン(Si)基板上にスパッタ法によって、Ta5nm/NiFe2nm/IrMn5nm/NiFe1nm/CoFe0.5nmという積層構造を成膜し、その表面を $1 \times 10^{-4}$  torrの酸素に60秒間さらし、非金属層24を形成した。そして、その上にさらにCoFe2nm/Cu2nm/CoFe2nmという積層構造を成膜し、その表面を $1 \times 10^{-4}$  torrの酸素に60秒間さらして非金属層50を形成した。そして、その上に、保護膜としてTaO<sub>2</sub> 4nmを堆積し、大気中に取り出した。この結果、表面のTaも酸化されて酸化層が形成された。この結果として、Ta5nm/NiFe2nm/IrMn5nm/NiFe0.6nm/NiFeO0.4nm/CoFeO0.5nm/CoFe2nm/Cu2nm/CoFe1.6nm/CoFeO0.4nm/TaO<sub>2</sub> 4nmという積層構造が得られた。ここで、酸化しにくいNiFeをIrMn層とCoFe層との間に挟んだことにより、非金属層24の膜厚は1nmに抑制され、再現性良く極薄の非金属層を形成することが可能となった。

【0119】このため、磁化固着層20における非金属層24を介した磁氣的結合は十分に強く、磁化固着特性に優れたスピンバルブ構造を実現することができた。具体的には、MR変化率18%、一方向異方性磁場(H<sub>UA</sub>)400Oeを得ることができた。また、全体の結晶性を改善するために、非金属層24の形成のための酸化処理を200℃において実施した場合においても、固着層20の磁化固着特性に劣化はみられなかった。

【0120】(比較例1) 上記実施例1に対する比較のために、熱酸化シリコン(Si)基板上にスパッタ法によって、Ta5nm/NiFe2nm/IrMn5nm/CoFe2.0nmという積層構造を成膜し、その表面を $1 \times 10^{-4}$  torrの酸素に60秒間さらし、非金属層を形成した。そして、その上にさらにCoFe2nm/Cu2nm/CoFe2nmという積層構造を成膜し、その表面を $1 \times 10^{-4}$  torrの酸素に60秒間さらして非金属層を形成した。そして、その上に、保

護膜としてTaO<sub>2</sub> 4nmを堆積し、大気中に取り出した。この結果、表面のTaも酸化されて酸化層が形成された。この結果として、Ta5nm/NiFe2nm/IrMn5nm/CoFe0.5nm/CoFeO1.5nm/CoFe2nm/Cu2nm/CoFe1.6nm/CoFeO0.4nm/TaO0.4nmという積層構造が得られた。すなわち、本比較例においては、CoFeの酸化が進みすぎてしまい、得られたCoFeO層の厚さは1.5nmと厚くなってしまった。このため、磁化固着層におけるCoFe層を介した磁氣的結合は弱く、磁化固着特性には劣化が見られた。具体的には、H<sub>UA</sub>は、2000eに低下した。また、全体の結晶性を改善するために、非金属層の形成のための酸化処理を200℃において実施したところ、固着層の磁化固着特性はさらに劣化してしまい、非金属層の酸化による厚膜化がさらに進行したことがわかった。

【0121】(実施例2)図3を参照しつつ本発明の第2の実施例について説明する。まず、熱酸化シリコン(Si)基板上にスパッタ法によって、Ta5nm/NiFe2nm/IrMn5nm/CoFe1nm/Ni1nmという積層構造を成膜し、その表面を $1 \times 10^{-4}$  torrの酸素に60秒間さらし、非金属層24を形成した。そして、その上にさらにCoFe2nm/Cu2nm/CoFe2nmという積層構造を成膜し、その表面を $1 \times 10^{-4}$  torrの酸素に60秒間さらして非金属層50を形成した。そして、その上に、保護膜としてTaO<sub>2</sub> 4nmを堆積し、大気中に取り出した。この結果、表面のTaも酸化されて酸化層が形成された。この結果として、Ta5nm/NiFe2nm/IrMn5nm/CoFe1nm/Ni0.5nm/NiO0.5nm/CoFe2nm/Cu2nm/CoFe1.6nm/CoFeO0.4nm/TaO0.4nmという積層構造が得られた。

【0122】本実施例においては、酸化しにくいNi層を表面に設け、IrMn層と接する層にはCoFe層を挟んだことにより、非金属層24の膜厚は1nmに抑制され、再現性良く極薄の非金属層を形成することが可能となった。

【0123】このため、磁化固着層20における非金属層24を介した磁氣的結合は十分に強く、磁化固着特性に優れたスピバルブ構造を実現することができた。また、IrMn層とCoFe層との組み合わせにより、十分に強い一方向異方性を得ることができた。具体的には、MR変化率として17%、一方向異方性磁場として5500eを得ることができた。さらに、全体の結晶性を改善するために、非金属層24の形成のための酸化処理を200℃において実施した場合においても、固着層20の磁化固着特性に劣化はみられなかった。

【0124】(実施例3)図4を参照しつつ本発明の第3の実施例について説明する。まず、熱酸化シリコン

(Si)基板上にスパッタ法によって、Ta5nm/NiFe2nm/IrMn5nm/CoFe1nmという積層構造を成膜し、その表面を $1 \times 10^{-5}$  torrの酸素に10秒間さらし、第1の非金属層24Aを形成した。そして、その上にさらにCoFe1nmを堆積し、もう一度その表面を $1 \times 10^{-5}$  torrの酸素に10秒間さらし、第2の非金属層24Bを形成した。

【0125】さらにその上に、CoFe2nm/Cu2nm/CoFe2nmという積層構造を成膜し、その表面を $1 \times 10^{-4}$  torrの酸素に60秒間さらして非金属層50を形成した。そして、その上に、保護膜としてTaO<sub>2</sub> 4nmを堆積し、大気中に取り出した。この結果、表面のTaも酸化されて酸化層が形成された。この結果として、Ta5nm/NiFe2nm/IrMn5nm/CoFe0.7nm/CoFeO0.3nm/CoFe0.7nm/CoFeO0.3nm/CoFe2nm/Cu2nm/CoFe1.6nm/CoFeO0.4nm/TaO0.4nmという積層構造が得られた。

【0126】本実施例においては、弱い酸化によりピンホールが存在する極薄のCoFeO層24A、24Bを設けるが、このように非金属層を2層とすることにより、全体の電子の鏡面反射率を改善し、約18%という大きなMR効果を得ることができた。

【0127】(実施例4)図5を参照しつつ本発明の第4の実施例について説明する。まず、熱酸化シリコン(Si)基板上にスパッタ法によって、Ta5nm/NiFe2nm/IrMn5nm/CoFeCr2nmという積層構造を成膜し、その表面を $1 \times 10^{-4}$  torrの酸素に60秒間さらし、非金属層24を形成した。そして、その上にさらに、CoFe2nm/Cu2nm/CoFe2nmという積層構造を成膜し、その表面を $1 \times 10^{-4}$  torrの酸素に60秒間さらして非金属層50を形成した。そして、その上に、保護膜としてTaO<sub>2</sub> 4nmを堆積し、大気中に取り出した。この結果、表面のTaも酸化されて酸化層が形成された。この結果として、Ta5nm/NiFe2nm/IrMn5nm/CoFeCr1.2nm/CoFeCrO0.8nm/CoFe2nm/Cu2nm/CoFe1.6nm/CoFeO0.4nm/TaO0.4nmという積層構造が得られた。

【0128】本実施例においては、Crが選択的に酸化されて安定な酸化物を形成するため、極薄の非金属層24を再現性良く形成することができた。さらに、全体の結晶性を改善するために、非金属層24の形成のための酸化処理を200℃において実施した場合においても、固着層20の磁化固着特性に劣化はみられなかった。

【0129】(実施例5)次に、図6を参照しつつ、本発明の第5の実施例について説明する。まず、熱酸化シリコン(Si)基板上にスパッタ法によって、Ta5nm

m/NiFe2nm/IrMn5nm/CoFe0.5nm/Cr0.4nmという積層構造を成膜し、その表面を $1 \times 10^{-5}$  torrの酸素に10秒間さらし、非金屬層24'を形成した。

【0130】さらにその上に、CoFe2nm/Cu2nm/CoFe2nmという積層構造を成膜し、その表面を $1 \times 10^{-4}$  torrの酸素にさらして非金屬層50を形成した。そして、その上に、保護膜としてTa0.4nmを堆積し、大気中に取り出した。この結果、表面のTaも酸化されて酸化層が形成された。この結果として、Ta5nm/NiFe2nm/IrMn5nm/CoFe0.5nm/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>0.5nm/CoFe2nm/Cu2nm/CoFe1.6nm/CoFeO0.4nm/TaO0.4nmという積層構造が得られた。

【0131】本実施例においては、膜全体として(111)配向性を有し、CoFe層は、fcc構造をとり、(111)面を積層させた構造となった。また、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は、コランダム構造をとり、最密充填層が膜面に対して平行に形成された。コランダム構造の場合には、酸素層を介してCr層が反強磁性的結合をしており、最密充填層に垂直な方向の磁氣的周期は、0.452nmである。このため、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>層の厚さを0.5nmとしたときには、膜厚方向にほぼ酸素層が2層積層されることになる。この結果、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>層を挟んだ上下CoFe層は平行に磁化結合し、安定な磁気特性を得ることが可能となった。具体的には、MR変化率として20%であり、一方向異方性磁場(H<sub>UA</sub>)として6000eを得ることができた。

【0132】(実施例6)次に、図6を参照しつつ本発明の第6の実施例について説明する。まず、熱酸化シリコン(Si)基板上にスパッタ法によって、Ta5nm/NiFe2nm/IrMn5nm/CoFe2nm/Cr0.6nmという積層構造を成膜し、その表面を $1 \times 10^{-5}$  torrの酸素に10秒間さらし、非金屬層24'を形成した。

【0133】さらにその上に、CoFe2nm/Cu2nm/CoFe2nmという積層構造を成膜し、その表面を $1 \times 10^{-4}$  torrの酸素にさらして非金屬層50を形成した。そして、その上に、保護膜としてTa0.4nmを堆積し、大気中に取り出した。この結果、表面のTaも酸化されて酸化層が形成された。この結果として、Ta5nm/NiFe2nm/IrMn5nm/CoFe2nm/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>0.7nm/CoFe2nm/Cu2nm/CoFe1.6nm/CoFeO0.4nm/TaO0.4nmという積層構造が得られた。

【0134】本実施例においても、膜全体として(111)配向性を有し、CoFe層は、fcc構造をとり、(111)面を積層させた構造となった。また、Cr<sub>2</sub>

O<sub>3</sub>は、コランダム構造をとり、最密充填層が膜面に対して平行に形成された。コランダム構造の場合には、酸素層を介してCr層が反強磁性的結合をしており、最密充填層に垂直な方向の磁氣的周期は、0.452nmである。このため、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>層の厚さを0.7nmとしたときには、膜厚方向にほぼ酸素層が3層積層されることになる。この結果、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>層を挟んだ上下CoFe層は反平行に磁化結合し、シンセティック磁化配列を得ることができ、MR変化率として19%を得ることができた。

【0135】(実施例7)次に、図6を参照しつつ本発明の第7の実施例について説明する。まず、熱酸化シリコン(Si)基板上にスパッタ法によって、Ta5nm/NiFe2nm/IrMn5nm/CoFe0.5nm/Fe0.4nmという積層構造を成膜し、その表面を $1 \times 10^{-5}$  torrのラジカル酸素に10秒間さらし、非金屬層24'を形成した。

【0136】さらにその上に、CoFe2nm/Cu2nm/CoFe2nmという積層構造を成膜し、その表面を $1 \times 10^{-4}$  torrの酸素にさらして非金屬層50を形成した。そして、その上に、保護膜としてTa0.4nmを堆積し、大気中に取り出した。この結果、表面のTaも酸化されて酸化層が形成された。この結果として、Ta5nm/NiFe2nm/IrMn5nm/CoFe0.5nm/ $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>0.5nm/CoFe2nm/Cu2nm/CoFe1.6nm/CoFeO0.4nm/TaO0.4nmという積層構造が得られた。

【0137】本実施例においても、膜全体として(111)配向性を有し、CoFe層は、fcc構造をとり、(111)面を積層させた構造となった。また、 $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は、コランダム構造をとり、最密充填層が膜面に対して平行に形成された。コランダム構造の場合には、酸素層を介してFe層が反強磁性的結合をしており、最密充填層に垂直な方向の磁氣的周期は、0.458nmである。このため、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>層の厚さを0.5nmとしたときには、膜厚方向にほぼ酸素層が2層積層されることになる。この結果、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>層を挟んだ上下CoFe層は平行に磁化結合し、安定な磁気特性を得ることが可能となった。具体的には、MR変化率として20%、一方向異方性磁場(H<sub>UA</sub>)として6000eを得ることができた。

【0138】また、 $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は、反強磁性が消失する温度(ネール温度)が670℃と非常に高いため、実際にデバイスとして使用される環境温度である100℃においても、6000eという大きな一方向異方性磁場を得ることができた。

【0139】

【発明の効果】本発明は、以上説明した形態で実施され、以下に説明する効果を奏する。



【0140】まず、本発明によれば、磁化固着層の中間に電子反射層としての非金属層を設け、且つその非金属層の下地として、2種類の層を積層させることにより、下側の層を反応に対するストッパ層として作用させ、極薄且つ均一な非金属層を再現性よく形成することができる。その結果として、電子の鏡面反射を生じさせつつ、第1の強磁性体金属層と第2の強磁性体金属層との磁気的なカップリングを確保して良好な磁化固着特性を得ることができる。

【0141】また、本発明によれば、磁化固着層の非金属層の下側の強磁性体金属層を多層構造とし、その下側の層をバルク効果が高い強磁性体の層とすることにより、磁化固着特性をさらに改善してより大きなMR変化量を得ることができる。

【0142】また、本発明によれば、磁化固着層において、電子を反射させる複数の非金属層を別個に設けることにより、強磁性体層との界面が増え、電子が鏡面反射される確率が倍増させることができる。つまり、ピンホールなどが存在しうような極薄の非金属層を用いて強磁性体層の間の磁気的なカップリングを確保しつつ、電子の鏡面反射の効率を倍増させることができる。その結果として、磁気固着特性を維持しつつ、電子の運動量の損失を大幅に低減して大きなMR特性を実現することができる。

【0143】また、本発明によれば、非金属層を中間に含んだ磁化固着層をシンセティック反強磁性体とすることにより、磁化固着層からの静磁場による動作点のシフトを解消することができる。さらに、静磁場の影響がなくなるため、フリー層を十分に薄くすることが可能となり、スペキュラ効果をより有効に利用することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態にかかる磁気抵抗効果素子の断面構造を表す概念図である。

【図2】非金属層24の形成方法を概念的に表す工程断面図である。

【図3】本発明の第2の実施の形態にかかる磁気抵抗効果素子の断面構造を表す概念図である。

【図4】本発明の第3の実施の形態にかかる磁気抵抗効果素子の断面構造を表す概念図である。

【図5】本発明の第4の実施の形態にかかる磁気抵抗効果素子の断面構造を表す概念図である。

【図6】本発明の第5の実施の形態にかかる磁気抵抗効果素子の断面構造を表す概念図である。

【図7】本発明の第6の実施の形態にかかる磁気抵抗効果素子の断面構造を表す概念図である。

【図8】電子を鏡面反射する非金属層を反強磁性層と第1の磁性層との間に設けた例を表す概念図である。

【図9】電子を鏡面反射する非金属層を反強磁性層の中間に設けた例を表す概念図である。

【図10】磁化固着層を上下に設けた構造を例示する概念図である。

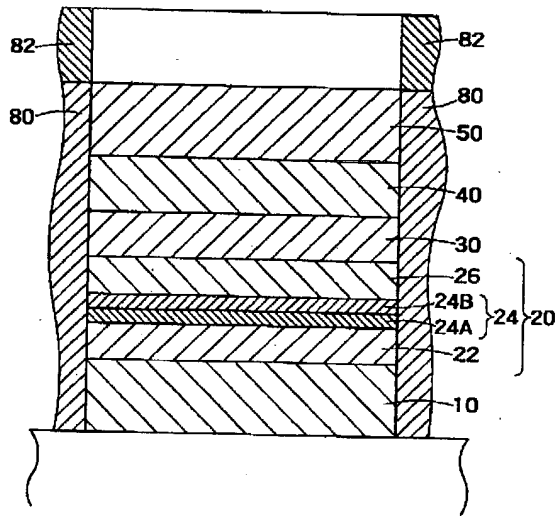
【図11】シンセティック反強磁性構造を採用した変形例を表す断面概念図である。

【図12】本発明の磁気記録装置の概略構成を例示する要部斜視図である。

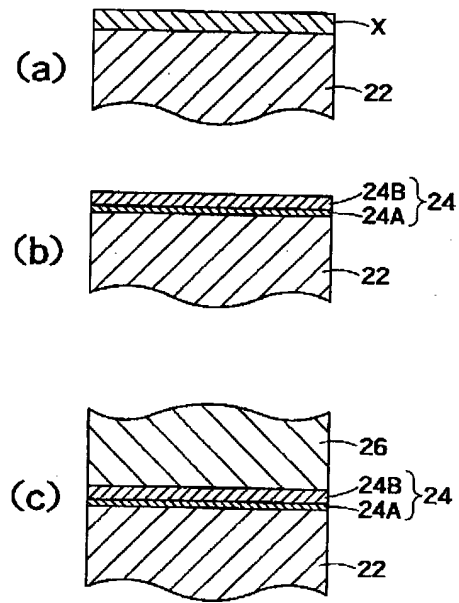
#### 【符号の説明】

- 2 バッファ層
- 10、10A、10B 反強磁性層
- 20 第1の磁性層
- 22、22A、22B、22C 強磁性体金属層
- 24 非金属層
- 24A 第1の非金属層
- 24B 第2の非金属層
- 26 強磁性金属層
- 28 ルテニウム層
- 30 非磁性中間層
- 40 第2の磁性層
- 50 非金属層
- 60 下地層、保護層
- 80 硬磁性膜
- 82 電極
- 150 磁気記録装置
- 151 磁気ディスク
- 153 ヘッドスライダ
- 154 サスペンション
- 155 アクチュエータアーム
- 156 ボイスコイルモータ
- 157 固定軸

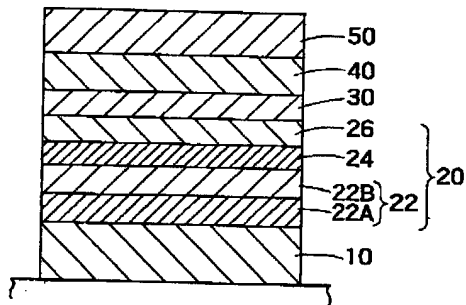
【図1】



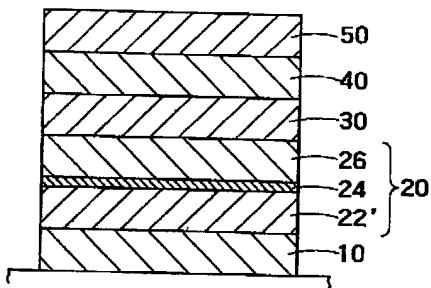
【図2】



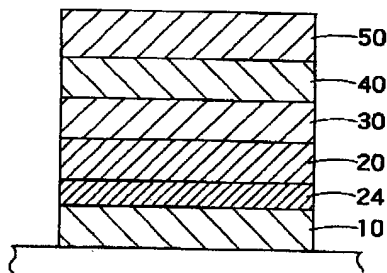
【図3】



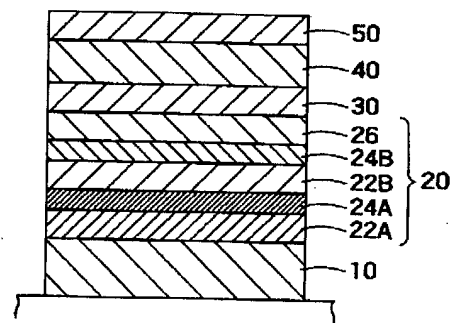
【図5】



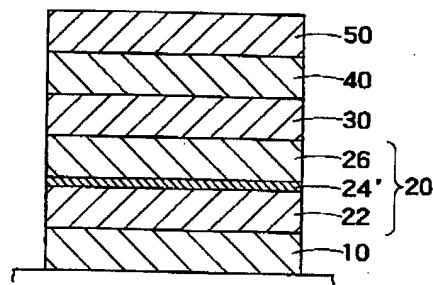
【図8】



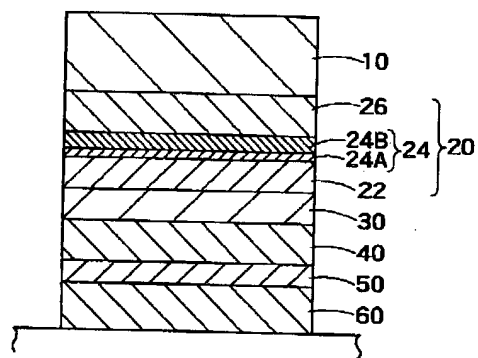
【図4】



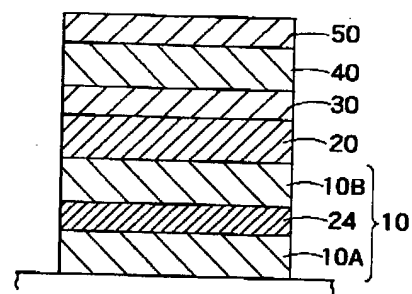
【図6】



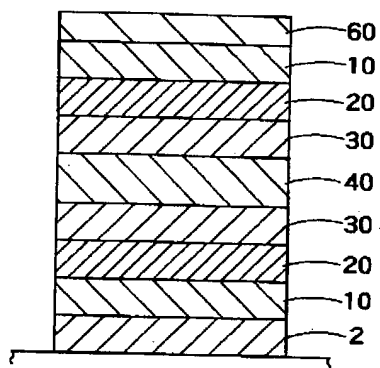
【図7】



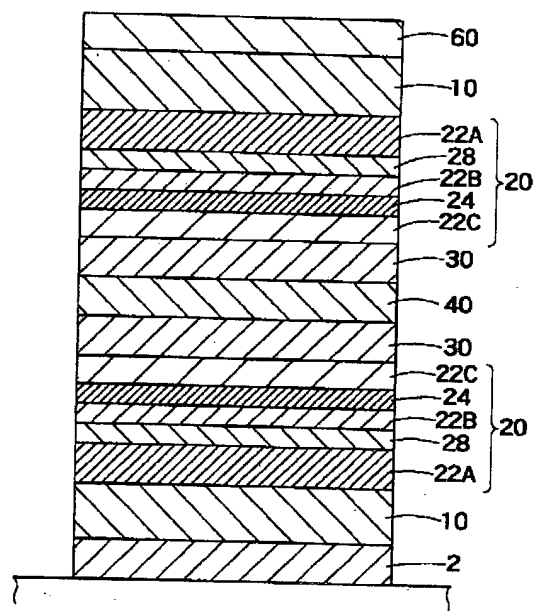
【図9】



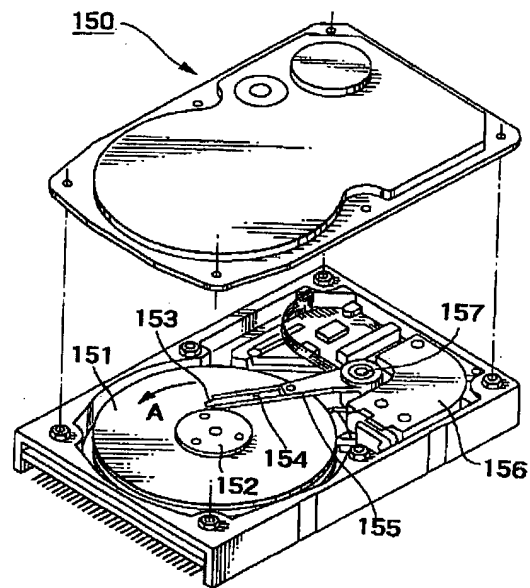
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(72)発明者 佐 橋 政 司  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1 株式会  
社東芝研究開発センター内

(72)発明者 岩 崎 仁 志  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1 株式会  
社東芝研究開発センター内